

# **VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

**Institut environmentálního inženýrství**

**TESTOVÁNÍ FLOTAČNÍCH ČINIDEL NA BÁZI ODPADŮ Z PYROLÝZY DŘEVA  
NA FLOTAČNÍ LINCE**

**TESTING OF FLOTATION AGENTS ON WOOD PYROLYSIS WASTE BASE ON  
A FLOTATION LINE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Autor:**

**Bc. Martin Žák**

**Vedoucí diplomové práce:**

**doc. Ing. Vladimír Čablík, Ph. D.**

**OSTRAVA 2010**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Martin Žák**

Studijní program:

N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma:

Testování flotačních činidel na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva na flotační lince

Testing of Flotation Agents on Wood Pyrolysis Waste Base on a Flotation Line

Zásady pro vypracování:

Kvalifikační práce bude vypracována v souladu s navrženou osnovou:

1. Úvod a cíl práce
2. Současný stav použití flotačních činidel na úpravách uhlí
3. Teorie flotace a popis flotačních zařízení
4. Realizace laboratorní experimentů na flotační lince
5. Vyhodnocení výsledků, diskuze a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Mavros, P., Matis, K.A. Innovations in Flotation Technology. NATO ASI Series : London. 1991, vol. 208, s. 538. ISBN 0-7923-1560-X.

Flotation and flocculation from fundamentals to applications / editors, John Ralston, Jan Miller, Jorge Rubio. - Medindie : Snap Printing, 2003 - viii, 374 s. : il. ISBN 0-9581414-0-1 (1/1).

International journal of mineral processing - Amsterdam [etc.] : Elsevier, 1974-2009 ISSN 0301-7516.

Fečko, P. Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů. VŠB-TU Ostrava : Ostrava, 2001. s. 149. ISBN 80-7078-921-2.

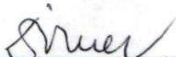
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Čablík, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 15.04.2010



  
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
vedoucí institutu

  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

**- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.**

**- Byl jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.**

**- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).**

**- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.**

**- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.**

**- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).**

**V Ostravě dne 15. 4. 2010**

**Bc. Martin Žák**

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá porovnáním flotačních činidel Montanol a flotačními činidly na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva na poloprovozní flotační lince. Flotace byla prováděna na černém uhlí z dolu Jankowice v Polsku.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí. V první teoretické části je popsán princip flotace. Ve druhé experimentální části jsem porovnával nejčastěji používaná flotační činidla na úpravárnách v ČR - Montanol (belgické flotační činidlo) a flotační činidla na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva - KOPD.

Flotační testy byly realizovány v laboratoři VŠB – TU Ostrava.

Klíčová slova: flotace, černé uhlí, flotační činidla

## **Annotation**

This thesis presents a comparison of flotation reagents Montanol and flotation reagents based on pyrolysis of wood waste on a flotation line. Flotation was carried out on black coal mine Jankowice in Poland.

The thesis is divided into two parts. The first part describes the theoretical principle of flotation. In the second experimental part, I compare the most commonly used flotation reagents on treatment plant in the Czech Republic - Montanol (Belgian flotation reagent) and the flotation reagent based on pyrolysis of waste wood - KOPD.

Flotation tests were carried out in the laboratory, VSB - TU Ostrava.

Keywords: flotation, coal, flotation reagents

# Obsah

<b>1. Úvod a cíl práce .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Současný stav použití flotačních činidel na úpravách uhlí .....</b>	<b>2</b>
2.1. Historie vzniku a složení uhlí .....	3
2.2. Flotace uhlí v praxi .....	5
2.3. Současný stav na úpravách uhlí .....	6
<b>3. Teorie flotace a popis flotačních zařízení .....</b>	<b>10</b>
3.1. Třífázový kontakt .....	12
3.1.1. Hystereze smáčení a její význam pro flotaci .....	16
3.2. Stavba a složení flotační soustavy .....	17
3.3. Flotační proces .....	19
3.3.1. Technologie flotace vlivem jevů při flotačním procesu .....	21
3.3.2. Flotační činidla a mechanismus jejich působení .....	24
3.4. Flotační stroje .....	26
3.4.1. Flotační přístroje mechanické .....	27
3.4.2. Flotační přístroje pneumatické .....	28
3.4.3. Pneumaticko-mechanické (kombinované) .....	28
3.4.4. Jiné konstrukce flotačních strojů .....	29
<b>4. Realizace laboratorních experimentů na flotační lince .....</b>	<b>30</b>
4.1. Charakteristika použitých flotačních činidel .....	32
4.2. Flotační testy .....	34
<b>5. Závěr .....</b>	<b>40</b>
<b>6. Literatura .....</b>	<b>41</b>

## 1. Úvod a cíl práce

V dnešní době se flotačními procesy na úpravnách nerostných surovin ročně upravuje více než miliarda tun nerostných surovin a je pomocí ní čištěno velké množství komunálních i průmyslových odpadních vod [26]. Pomocí flotace je možné řešit řadu hospodářských problémů, k nimž patří hlavně komplexní využívání zásob nerostných surovin, úprava kalů a jiných jemnozrnných surovin. Využívání flotace se proto neustále rozšiřuje. Z hlediska množství a různorodosti upravovaných surovin patří flotační procesy na první místo mezi způsoby úpravy jemnozrnných surovin. Vzhledem k velkým možnostem flotačních procesů bude jejich význam nepochybně narůstat i v budoucnosti.

Podle průběhu můžeme flotační proces definovat jako způsob separace, kde se využívá schopnosti některých částic vyplavat na hladinu flotačního rmutu a jiných částic klesat a pohybovat se ve rmutu. Flotaci a její průběh můžeme podpořit použitím specifických látek - flotačních činidel, které díky adsorbování na povrchu částic výrazně mění jejich povrchovou energii v požadovaném směru podle toho, která částice se má flotovat (přejít do pěnového produktu) [27].

Cílem mé diplomové práce je zkoumání a porovnání flotačního činidla, které je nejčastěji používáno na úpravnách v ČR - Montanol (belgické flotační činidlo), s flotačními činidly na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva - KOPD.

## 2. Současný stav použití flotačních činidel na úpravách uhlí

Hlavním významem i předností flotace před dalšími metodami rozdělování je možnost docílení jemně rozptýlené a jemně prorostlé užitkové složky z nerostných surovin všech druhů. Před zavedením flotačních úprav se větší část velmi jemně rozptýlených a prorostlých užitkových složek ukládal jako odpad na odval. Obsah užitkových složek v odpadech gravitační úpravy býval často velmi velký. Proto se zavedením flotačních technologií je možné znova zpracovávat některé staré odvaly a v závěru lze získat množství užitkových složek, které byly do té doby považovány za nevyužitelné [7].

Flotace řeší také problém úpravy v případě velmi jemných zrn a kalových podílů. Při gravitačních úpravách se suroviny často silně rozdrobují a tvoří se kal, který obsahuje užitkové složky společně s průvodními horninami. Bez použití flotace však nelze tyto kaly vůbec využít. Flotační technologie úpravy kalů umožňuje získat jemné podíly vysoce hodnotného koksovateľného uhlí.

Flotace, jako proces úpravy nerostných surovin, je založena na rozdílných fyzikálně-chemických vlastnostech povrchu rozdělovávaných minerálních zrn, které pro jednotlivé minerály podmiňuje rozdílná specifická povrchová energie. Při flotaci rud je maximální velikost flotovávaných zrn asi 0,1 až 0,25 mm, velikost zrn však většinou nepřevyšuje 0,5 mm. V praxi se flotují obvykle zrna podstatně menší [7].

Na našich úpravách jsou většinou využívány flotátory hlavně typu Denver, Wemco a VF 8,5. Denver se používá jako deseti buňkový flotační stroj, zpracovává cca  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  flotačního v rozmezí 120 – 150  $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Wemco se používá v pěti buňkovém provedení s objemem 8,3  $\text{m}^3$ . Míchací zařízení je tvořeno rotorem, pomocí kterého se vrhá rmut i vzduch proti pogumovanému roštovému statoru, podporujícímu rozmělnění vzduchu na drobné bublinky. Flotátor má výkon okolo 60  $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ , při zahuštění 80 - 180  $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Z typu Wemco vychází velkoobjemový flotační stroj VF 8,5 s pěti buňkami. Skládá se ze vstupní a výstupní nádrže. Představuje výkon cca 60  $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$  při zahuštění 150  $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  [27].

## 2.1. Historie vzniku a složení uhlí

Uhlí se vytvářelo v bažinných ekosystémech jezerních pánví, říčních delt nebo nízko položených území při okrajích pevnin z těl pravěkých rostlin. Ty nejdříve díky energii slunce vytvářely ze vzduchu, vody a minerálních látek uhlovodíky. Po odumření pak klesaly pod hladinu bažiny, kde se v prostředí bez přítomnosti kyslíku nemohly rozložit běžnými biologickými procesy. Doklady o původu uhlí a druhovém složení pravěkých ekosystémů poskytují četné paleontologické nálezy.

Další geologické procesy pak překryly vrstvy biologického původu jinými materiály - často náhle díky nejednodušším katastrofám. Svědčí o tom skutečnost, že přechody mezi uhelnou slojí a okolní horninou bývají nezdědky velmi ostré. Hmota zpočátku podobná rašelině se postupně dostávala do větších hloubek. Díky zvyšujícím se tlakům a teplotám z ní byla vytěšňována voda a jiné látky, zatímco podíl uhlíku rostl [28].

*Přeměnu biologického materiálu na uhlí zjednodušeně vyjadřuje rovnice:*

***biologický materiál (celulóza) = oxid uhličitý + voda + metan + uhlík (uhlí)***

Udává se, že na vznik uhelné sloje o síle jednoho metru bylo třeba asi třicetimetrové vrstvy rašeliny. Uhlí je tak tím kvalitnější, čím déle tento proces probíhal - nejdokonalejším a konečným produktem zuhelnování je grafit (tuha) s téměř stoprocentním obsahem uhlíku. Největší a nejkvalitnější uhelné sloje se tvořily v období prvohor příznačně nazývaném karbon, do kterého spadá také vznik ostravsko-karvinského uhlí. Uhlí se pak tvořilo ještě v prvohorním období zvaném perm a i v pozdějších dobách. V bažinných ekosystémech vzniká uhlí i dnes. Bohužel, tuto vznikající surovinu bude možné využívat za desítky až stovky milionů let [28].

Přírodní uhlí je složeno z uhlíku, vodíku, dusíku, síry, kyslíku, minerální hmoty a vlhkosti. Základní hmota uhlí podle mnoha pozorování a výzkumu má koloidní strukturu. Tato hmota nekystalizuje a při rozpouštění vytváří koloidní roztoky. Základní hmota je amorfni a má dvojvrstvé uspořádání molekul. Flotační vlastnosti



se odhadují z testovacích dat. Hydrokarbonáty jsou hydrofilní a následkem toho mohou být více flotovatelné. Krystalický uhlík, reprezentovaný Ceylonským grafitem je velmi dobře flotovatelný. Neflotovatelnost kyslíku a minerální hmoty značí neflotovatelný lignit a živočišné uhlí [18].

*Uhlí je složeno ze dvou typů rostlinných zbytků [15]:*

- *Attrit* je strukturní prvek, který má rostlinnou strukturu (spory, kutikuly).
- *Nestrukturní hmota* je základem mikrokomponentů uhlí, vzniká z důvodu přeměny rostlinné hmoty a to ochlazením a funizací, které se střídají, doplňují a vytvářejí petrografické typy.

Uhlí je makromolekulární heterogenní systém, uspořádanost krystalické mřížky roste s prouhelněním. Uspořádání makromolekulárního systému je nekrystalické, gelovité a atomy uhlíku jsou rozloženy dvojrozměrně, tj. v jedné rovině. Podle prouhelnění je možno uhlí rozdělit do tří skupin na hnědá uhlí, černá uhlí a antracitu. Prouhelnění roste se zvyšujícím se obsahem uhlíku a s klesajícím obsahem prchavé hořlaviny. Z petrograficko-mineralogického hlediska je pro stanovení stupně prouhelnění určujícím parametrem stanovení světelné odraznosti vitritu [23].

### **Voda a minerální příměsi**

Uhlí obsahuje vodu, která je nehořlavou a proto i nežádoucí složkou, díky níž se snižuje jeho hodnota. Vzhledem k prouhelnění obsahuje tuhé palivo 1 až 60 % vody. Voda je vázána různými způsoby. Pouze její část - hydratovaná voda a voda konstituční se nestanovuje. Vodu vázanou v uhlí lze oddělit odkapáváním, filtrací nebo odstředěním. Kapilární vodu ztrácejí paliva vysycháním na vzduchu. Sušením paliva při teplotě 105 °C se uvolňuje hygroskopická voda, takto uvolněná voda se nazývá zbylá voda. Okludovaná voda se z paliva uvolňuje až za vyšších teplot při rozkladu paliva [19].

Podmínky a efektivita flotace rovněž závisí na složení minerálních příměsí a na disperzitě. Příměsi se do uhlí dostávají z okolních hornin (hlíny, písky). Hlíny se ve vodě rozmácejí a mění se na jemně disperzní kaly. Část z nich však

proroste s uhlím a nedostane se do vody ani při mletí. Kromě těchto venkovních příměsí se do uhlí dostávají i vnitřní příměsi, kterými jsou rostlinné hmoty. Jejich množství v uhlí kolísá kolem 1 – 2 % [23].

*Nejčastější minerální příměsi [7]:*

- *Jíly* (např. kaolín, jílovité břidlice a hlíny) – vytvářejí mnoho jemně dispergovaných kalů při rozmočení a promísení s vodou.
- *Sulfidy* (např. pyrit, markazit) – znamenají znehodnocení uhlí sírou.
- *Minerály se zvýšenou rozpustností* (sádrovec a podobné soli) – mají zvýšenou koncentraci elektrolytu ve rmutu, vytvářejí se obaly na zrnech uhlí.
- *Uhelné a hořící břidlice*
- *Nesulfidické minerály* (silikáty, oxidy, karbonáty)

## 2.2. Flotace uhlí v praxi

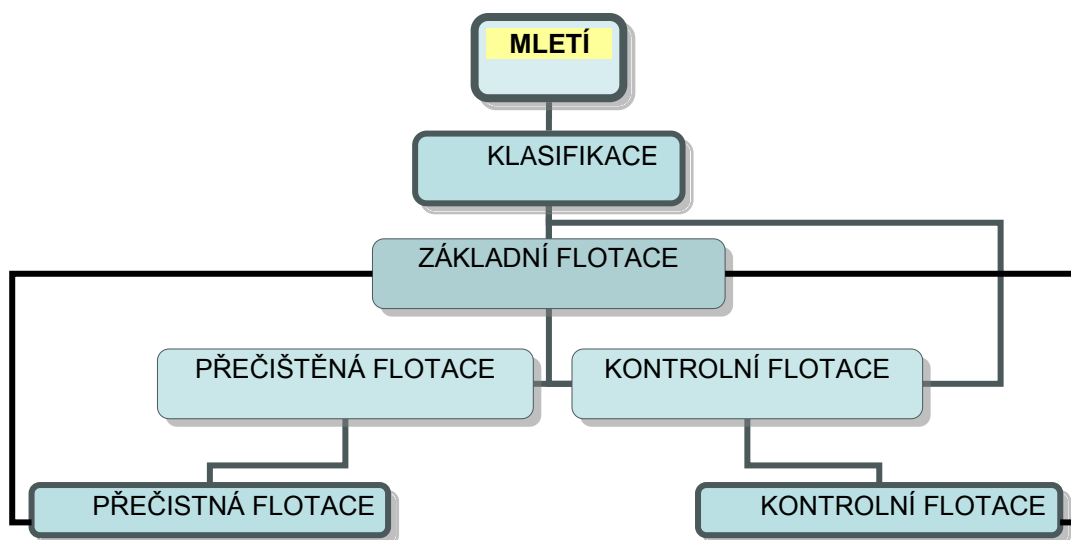
V praxi se flotace využívá pouze na úpravu koksovatelného uhlí. Flotace v uhelném úpravnictví je součástí celého řetězce dalšího rozdružování, je velmi důležitým doplňkem a často nezbytným, hlavně v souvislosti se stále vzrůstajícím podílem jemnozrnných podílů částic v důsledku mechanizace dobývání uhlí.

V dnešní době dochází k útlumu v uhelném hornictví. Míra útlumu je závislá na vývoji mezinárodních a vnitrostátních podmínek. Dalším faktorem, který toto ovlivňuje je plnění mezinárodní dohody o postupném snižování oxidů síry vypouštěných do ovzduší.

Všeobecná tendence využívání nejjemnějších uhelných frakcí, vznikajících v procesech úpravy černého uhlí, přetrvává již mnoho let, je způsobena snahou o zvýšení kvality koncentráту, případně potřebou zpracování jemně vtroušených nerostů. Největší ztráty v úpravě uhlí vznikají v kalovém systému. Právě tady je důležitým prvkem flotace, která je doplňkem rozdružování a zároveň patří mezi nejdůležitější uzly vlastní úpravy černého koksovatelného uhlí [28].

### 2.3. Současný stav na úpravách uhlí

Flotační úpravě se podrobuje uhelná surovina v zrnitostním rozmezí od 0 do 0,5mm (možná maximální velikost částic se pohybuje okolo 1mm). Jde o materiál získaný vytříděním *primárních jemných zrn (primární kal)* ze vsazky (tzv. přívodu) do úpravny uhlí a který je doplněný tzv. druhotnými (*sekundárními*) *kaly*, tj. částicemi vzniklými otěrem v technologickém procesu úpravy. Tento jemný podíl se flotačně zpracovává pouze v případě koksovatelného uhlí (např. důl Paskov, důl ČSM). Flotace je v úpravách uhlí doplňkem jiných způsobů rozduřování, uplatňování rozduřování pomocí flotace však vzhledem ke změnám zrnitosti roste (viz obr. 1). Při flotaci uhlí přechází do pěnového produktu specificky lehčí část upravované suroviny. Flotační úprava uhlí je díky složitosti procesu, činidlům, atd. zhruba 4-5 krát dražší než gravitační způsoby úpravy. Z hlediska kvality získaných flotačních koncentrátů a dosahované ostrosti rozduřování je však flotace neporovnatelně lepší, než všechny ostatní způsoby úpravy uhelných kalů a prachu.



Obr. 1 Schéma flotačního cyklu [15]

Při flotaci uhlí přechází větší část upravované suroviny do pěnového produktu a tato skutečnost se zohledňuje při konstrukci flotačních strojů. Důležitou roli při flotaci uhlí má také  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , který se spotřebovává v množství od 1,0 do 5,0  $\text{kg.t}^{-1}$ . Snižuje negativní účinek velmi jemných kalových částic a zamezuje flotovatelnosti pyritu a markazitu, kteří jsou nechtěnými nositeli síry v uhlí. Podobný účinek má i soda. Když je však pyrit velmi jemně prorostlý s uhelnou hmotou, jeho flotovatelnost není možné potlačit a v získaném koncentrátu se tímto snižuje obsah síry.

Z jednotlivých faktorů, které působí na flotační pochod je nejdůležitější - zrnitost vstupního materiálu, zahuštění rmutu, dávkování přísad, provzdušňování rmutu, způsob odstraňování pěny a určení optimální flotační doby.

*Zrnitost přiváděného materiálu* – v dnešní době se flotace používá pro úpravu jemného uhelného prachu obsaženého v surovém uhlí a uhelném kalu, zpravidla o velikosti pod 0,5 – 0,75 mm [15].

*Rovnoměrnost přívodu a stejnorodost rmutu* - přívod flotovaného materiálu do flotačního přístroje má být rovnoměrný a bez značných výkyvů.

*Zahuštění rmutu* - zvýšením hustoty rmutu se úměrně zvyšuje výkonnost flotačních přístrojů, mění se spotřeba přísad a snižuje se spotřeba elektrické energie a vody.

Zvětšení hustoty nad určitou mez však vyvolává narušení flotačního pochodu, díky znemožnění pohybu jak bublinek, tak dané suroviny. S délkou flotační doby se hustota rychle zmenšuje [7].

*Z technologického hlediska rozlišujeme tři operace flotace [15]:*

- *Základní flotace*
- *Přečistná flotace* - operace opakované flotace pěnového produktu. Cílem je snížení obsahu příměsí v koncentrátu nebo zvýšení kvality flotace.
- *Kontrolní flotace* - operace opakované flotace nepěnového produktu základní flotace. Při kontrolní flotaci je důležité získat užité složky obsažené v upravované surovině a zabránit jejich ztrátám do odpadu.

Počet přečistných a kontrolních operací flotace závisí na požadované kvalitě koncentrátu, ale i na složení a charakteru upravované suroviny [7].

### **Popis úpravny dolu Paskov**

Těžené uhlí je na úpravnách uhlí dopravováno pomocí pásových dopravníků a dále je roztříděno pomocí dvou-plošných sít na zrnitostní třídy 0-15 mm a 15-200 mm. Surové uhlí o zrnitostech 15-200 mm se dále upravuje pomocí těžkokapalinových rozdružovačů (např. DREWBOY). Surové uhlí o zrnitosti 0,5-15 mm je roztříděno pomocí obloukových sít se šířkou štěrbin 1 mm a dále rozdružováno na sázečkách. Podsítné frakce o zrnitosti 0-0,5 mm vedou do zahušťovače (např. typu DORR) a poté jsou dále rozdružovány flotací na rotátoru (např. typu DENWER) [17].

K flotaci uhlí jsou využívány flotační činidla tvořené sběrací a pěnící složkou, buď ve směsi, nebo odděleně sběrač a pěnič. Pro flotaci uhlí se používají nepolární sběrače na bázi ropných produktů, které zvyšují hydrofobitu povrchu uhelných zrn. Pomocí druhé pěnící složky se snižuje napětí na rozhraní kapalně a plynné fáze, zvyšuje se stupeň dispergace vzduchových bublin a díky tomu dochází k tvorbě stabilní mineralizované pěny. Na našich úpravnách se osvědčily a dále se využívají těžké odpadní produkty oxosyntézy OXO-HE, jinde vyšší alkoholy a odpadní produkty z jejich výroby, přestože jsou tyto alkoholy drahé. Další flotační činidla není většinou nutné pro flotaci uhlí používat. Pokud je uhlí oxidované, nebo obsahuje pyrit a markazit, je možné využít vápenné mléko, popř. sodu.

Požadavky na kvalitu flotačního koncentrátu se řídí kvalitativními ukazateli odběratelů, což jsou koksárenské závody, ale také ekonomickými ukazateli těžebního nebo úpravárenského podniku. Je proto důležité flotovat tak, aby flotační uhelný koncentrát měl takový obsah popela a vody, aby ve směsi s hrubším uhlím vytvořil optimální prodejní produkt.

Úpravna dolu Paskov je centrální dvou-linkovou úpravnou kombinovaného typu pro úpravu uhlí z dolu Paskov (Staříč) a dolu Lazy (na kterém samotná flotace

neprobíhá díky málo koksovatelnému uhlí). Úpravna produkuje výhradně uhlí vhodné pro koksování. Provoz úpravný byl zahájen v roce 1970. Komplex obsahuje hlubinné zásobníky pro vykládku uhlí, zásobníky surového uhlí, úpravnu, expedit a odvalové hospodářství. Na úpravně se zpracovávají zrna uhlí o velikostech 0-0,5 mm z 25-30 %, zrno 0,5-15 mm ze 40-45 % a zrna velikosti 15-200 mm z 25-30 % [17].

*Kalový oběh úpravný je tvořen [17]:*

- Podsítnými obloukovými síty pro třídění uhlí 0-15mm před vstupem na sázečky.
- Přepadem z bagrovacích jímek praného uhlí ze sázeček.
- Nemagnetickou frakcí sekundárních separátorů magnetitového regeneračního oběhu.
- Fugátem z odstředivek praného uhlí.

Pomocí obloukových sít se šířkou štěrbin 1 mm při poloviční velikosti dělicího zrna se docílují zrnitosti podsítného 0-0,5 mm. Prané uhlí ze sázeček je přiváděno do bagrovací jímky. Množství dopravované vody se pohybuje od 900 do 1200 m<sup>3</sup>/h. Nejjemnější podíly (0-0,5 mm) odchází pomocí přepadu do bagrovací jímky a potrubím jsou přiváděny do sedimentačních špiček. Nemagnetické frakce magnetických separátorů (tvořeny z části jílovitými příměsemi magnetitů a jemnými uhelnými podíly o zrna 0-1,0 mm) jsou rovněž přiváděny do sedimentačních špiček. Fugát (tekutý digestát) z odstředivek praného uhlí a meziprojektu je sveden do sedimentačních špiček [17].

Uhlí o velikosti zrna 0-0,5 mm je svedeno potrubím do zahušťovacích špiček, kde jsou svedeny veškeré vody úpravný. Sedimentační špičky se skládají ze sedmi nádrží na jedné lince v podobě komolých jehlanů. Snížením průtočné rychlosti na přívodu dochází k usazování tuhého podílu suspenze v jednotlivých sedimentačních špičkách. Zrna na přívodu jsou vedena do první špičky, přepad odchází do druhé sedimentární špičky a dále se tento postup opakuje „kaskádovým“ způsobem až do poslední špičky. Voda z přepadu špiček jde na uhelný DORR. Zahuštěná složka ze špiček putuje dále přes kontrolní

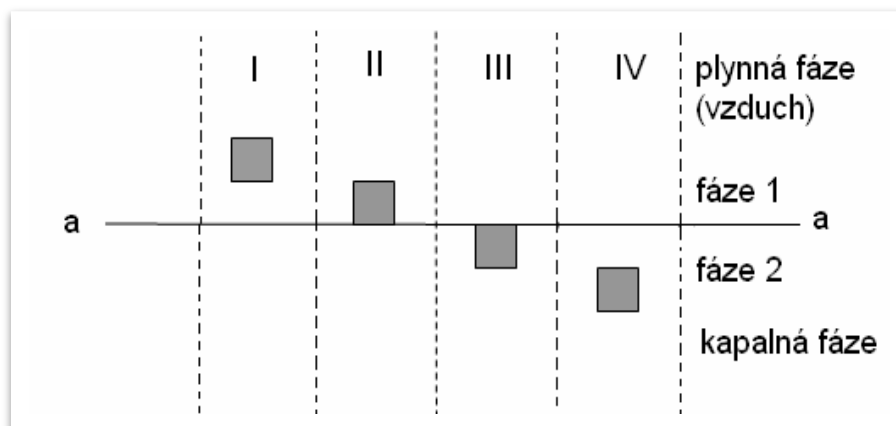
obloukové síto. Nadsítné zrna kontrolního obloukového síta jdou na sázečky a podsítné, tedy zrno 0-0,5mm, jde do uhelného zahušťovače (typu DORR). Vyčeřená složka ze zahušťovače DORR slouží jako voda ke sprchování surového uhlí a dále jako prací voda do sázeček. Zahuštěná složka je přečerpána rozváděcím potrubím k flotátorům [17].

V úpravně uhlí je umístěno sedm flotátorů na obou linkách. Flotační koncentrát je po ustálení ve vyrovnávací nádrži přiveden k odvodnění na filtry (ANDRITZ). Poté je uskladněn v zásobníku flotačního koncentrátu. Filtrační voda proudí z části zpět do flotátoru a částečně také do hlušinového zahušťovače (typu DORR). Flotační hlušiny jsou nakonec svedeny do bagrovací jímky, a dále jsou hrubší částice vynášeny na kalové odvodňovací síto. Odvodněné flotační hlušiny se přidávají k dalším hlušinám z úpravy. Voda z přepadu bagrovacích jímek jde na hlušinový zahušťovač [17].

### **3. Teorie flotace a popis flotačních zařízení**

Flotací rozumíme jev, při kterém částice lehčí než kapalina stoupají k hladině. Flotace je tedy opakem sedimentace (usazování). Jsou-li vyplavované částice z hladiny odstraňovány, slouží flotace k separaci (oddělení) částic lehčích než kapalina. Flotační proces úpravy užitkových nerostů je založen na selektivním přilnutí jemných částic užitkových materiálů k bublinkám vzduchu srovnatelné velikosti [15].

Flotační technologie vyžaduje jemný materiál o velikosti zrn max. 2 mm. Vzhledem k povrchu fázového rozhraní dvou fází (kapalinná – plynná), se při dotyku s povrchem fázového rozhraní určuje hodnota specifických povrchových energií koexistujících fází. Celý systém musí dosáhnout stav, který odpovídá minimu volné energie – v souladu s druhou termodynamickou větou (viz obr. 2).



Obr. 2 Poloha minerálního zrna ve vztahu k fázovému rozhraní (a-a) [15]

Pokud minimum volné energie soustavy jednoho materiálu bude odpovídat jedné z prvních tří poloh (I až III), a druhého materiálu poloze IV, dojde ke splnění podmínky pro stav, kdy se tyto materiály mohou od sebe začít oddělovat pomocí flotačního způsobu. Z obr. 2 dále vyplývá, že při styku minerálního zrna s povrchem fázového rozhraní, zrna prvního minerálu se bude zdržovat na povrchu fázového rozhraní, zatímco zrna druhého minerálu přejde do nižší polohy vzhledem k povrchu fázového rozhraní a bude uvnitř objemu fáze [15].

Vlastní podstata flotace byla na počátku definována a prováděna především pomocí fyzikálních zákonitostí. Časem došlo ke zjištění významu a začlenění do flotace chemického činitele, podpořily se fyzikální zákonitosti různými chemickými sloučeninami, tzn. působení určitých činidel (chemických sloučenin) na povrchové vlastnosti minerálních zrn ve flotačním pochodu. Tyto chemické činidla měly v důsledku za následek účinnější průběh flotačního procesu. Správným představám o podstatě flotace je tedy kombinované působení všech podmínek a činitelů jak fyzikálních, tak chemických.

Vývoj v oblasti flotačních procesů jak teoretický, tak praktický ukazuje, že pokrok a účinný průběh ve flotačním procesu do velké míry záleží na stálém zdokonalování reagenčního režimu – neustálé zlepšování flotačních činidel, rozšiřování oblastí s možností nasazení flotačních činidel, zaváděním a ověřováním stále nových a účinnějších činidel, nebo jejich vzájemné spojování do vhodných kombinací [19].

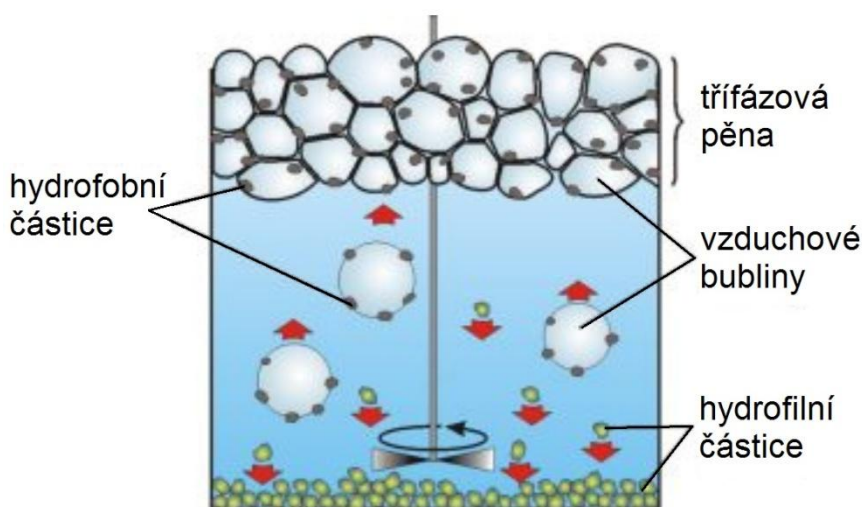


### 3.1. Třífázový kontakt

Elementární akt flotace znamená přichycení jednotlivých částic tuhé fáze na povrchu fázového rozhraní dvou fází. Příčiny výběrového přichycení různých částic na mezifázovém povrchu objasňuje mnoho hypotéz. Nejsnáze lze vyjádřit tzv. **hypotézou smáčení**. Podle ní závisí schopnost materiálů zachytit se na povrchu rozhraní voda – vzduch na smáčitelnosti povrchu tuhé látky vodou. Čím více je povrch tuhé látky smáčitelnější, tím hůře poté flotuje a naopak. Částice hydrofobních látek (látek odpuzujících vodu) se lehce spojují se vzduchovými bublinami a jsou dobře flotovatelné [7].

#### Smáčitelnost

Smáčitelnost minerálního povrchu vodou závisí na řadě činitelů, kterými jsou složení a struktura minerálů, přítomnost cizích vrostlých minerálů, defekty v mřížce, mikrodrsnost a makrodrsnost povrchu, nerovnoměrnost, stav a charakter povrchu způsobený složkami okolního – koexistujícího prostředí. Smáčitelnost tuhých látek lze měnit v širokém rozmezí, což je jeden z problémů, ale i velká přednost flotačního rozdružování. Smáčitelnost, tedy i flotovatelnost látek lze měnit pomocí flotačních přísad (reagencií). Při praktické aplikaci flotace – v mém případě – při pěnové flotaci (obr. 3) se rmut intenzivně míchá ve vodě, kterou současně probublává vzduch.



Obr. 3 Schéma pěnové flotace [32]

Částice s hydrofobním povrchem, které jsou vodou hůře smáčitelné, se přichytávají na vzduchové bubliny, které je vynášejí na povrch vody. Zde se shlukují do formy pěny, kde je dále mechanicky (pomocí lopatek) odstraňována a dopravována k dalšímu zpracování. Částice s hydrofilním povrchem, které jsou dobře vodou smáčitelné a ke vzduchovým bublinkám nepřilnou, zůstanou ve flotačním rmutu a usazují se na dně, kde vytváří flotační odpad. Nejčastěji se smáčitelnost různých minerálů charakterizuje velikostí styčného úhlu (neboli úhlu smáčení), který představuje energetické poměry na kontaktu 3 fází (fáze tuhé, kapalné a plynné) [15].

Rovnovážný styčný úhel je fyzikálně – chemickou konstantou pro 3 fáze. Vyjadřují se pomocí něho hodnoty specifických povrchových energií fázového rozhraní všech tří fází (1) [15]:

$$\theta = f(\gamma_{AB}, \gamma_{BC}, \gamma_{AC}); \quad (1)$$

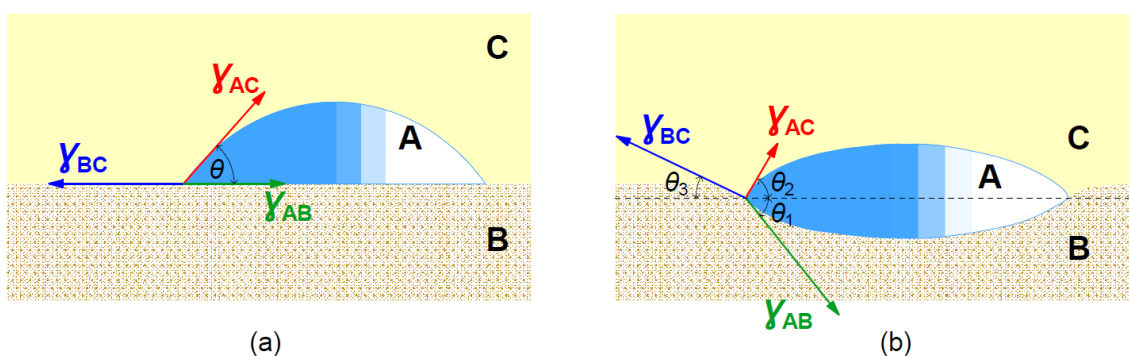
kde  $\theta$  je rovnovážný styčný úhel,

$\gamma_{AB}$ ,  $\gamma_{BC}$ ,  $\gamma_{AC}$  - jsou specifické povrchové energie fázového rozhraní, a to plynné – tuhé, kapalné – tuhé, plynné – kapalné fáze.

#### **a) dobré smáčení**

Úhel smáčení je při dobrém smáčení ostrý  $0 < \theta < 90^\circ$ . Pokud zůstane kapka kapaliny (A) - umístěná na povrchu tuhé (obr. 4a) nebo kapalné fáze (obr. 4b) - ve formě kapky s ostrým úhlem smáčení, znamená to, že kapalina dobře smáčí povrch tuhé či kapalné fáze [29].

Platí, že  $\gamma_{BC} > \gamma_{AB}$ , tzn. mezifázová energie  $\gamma_{BC}$  je větší než mezifázová energie  $\gamma_{AB}$  mezi kapalinou A, tvořící kapku, a fází B.



Obr. 4 Kapka kapaliny dobře smáčející (a) tuhý povrch, (b) povrch jiné kapaliny [29]

V případě obr. 4a, tzn. pro kapku kapaliny na tuhém povrchu, je dána Youngova rovnice (2).

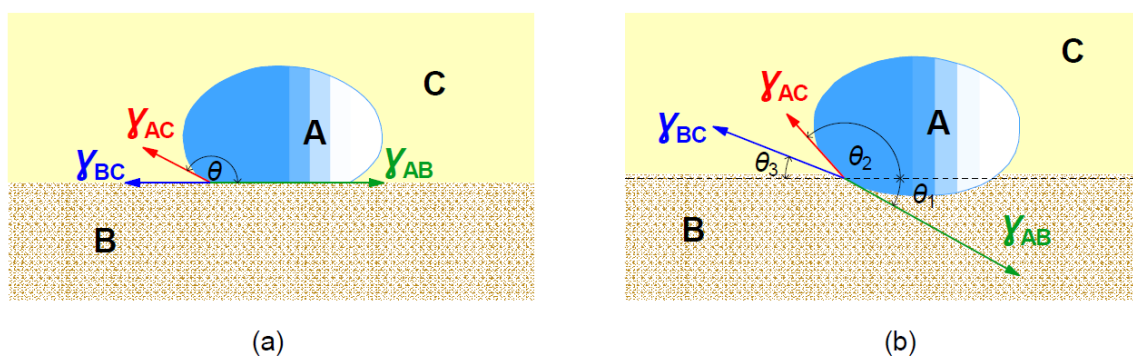
$$\gamma_{BC} = \gamma_{AB} + \gamma_{AC} \cdot \cos \theta \quad (2)$$

v případě obr. 4b, kapky kapaliny v mobilním rozhraní, pak vztahem (3).

$$\gamma_{BC} \cdot \cos \theta_3 = \gamma_{AB} \cdot \cos \theta_1 + \gamma_{AC} \cdot \cos \theta_2 \quad (3)$$

### b) špatné smáčení

Při špatném smáčení je úhel smáčení tupý. Pokud zůstane kapka kapaliny (A) - umístěná na povrchu tuhé (obr. 5a) nebo kapalně fáze (obr. 5b) - ve formě kapky s tupým úhlem smáčení, znamená to, že kapalina špatně smáčí povrch tuhé či kapalně fáze. Platí, že  $\gamma_{BC} < \gamma_{AB}$ , tzn. mezifázová energie  $\gamma_{BC}$  je menší než mezifázová energie  $\gamma_{AB}$  mezi kapalinou A tvořící kapku a fází B [30].



Obr. 5 Kapka kapaliny špatně smáčející (a) tuhý povrch, (b) povrch jiné kapaliny [31]

V případě obr. 5a, tzn. pro kapku kapaliny na tuhém povrchu, je dána Youngova rovnice (4).

$$\gamma_{BC} = \gamma_{AB} + \gamma_{AC} \cdot \cos \theta \quad (4)$$

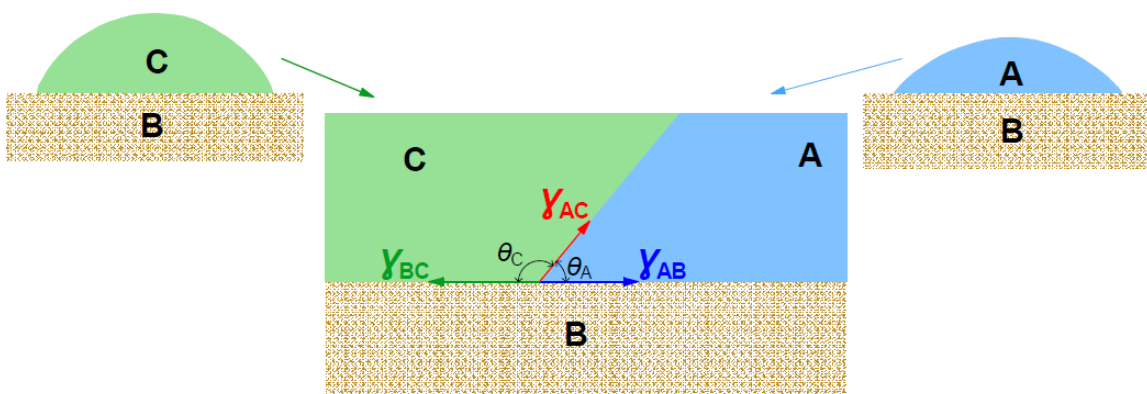
v případě obr. 5b, kapky kapaliny v mobilním rozhraní, pak vztahem (5).

$$\gamma_{BC} \cdot \cos \theta_3 = \gamma_{AB} \cdot \cos \theta_1 + \gamma_{AC} \cdot \cos \theta \quad (5)$$

### c) smáčení selektivní

Při selektivním smáčení máme 2 kapaliny A a C, každá sama o sobě dobře smáčí tuhý povrch, takže dochází k tomu, že si při společném styku s tuhým povrchem konkurují.

Ta z kapalin, na jejíž straně se ustaví ostrý úhel smáčení selektivně smáčí daný tuhý povrch ( $\theta_A$  na obr. 6).



Obr. 6 Kapalina A selektivně smáčí tuhý povrch B [30]

Podle K. A. Razumova je možno udělat klasifikaci hydrofilnosti a hydrofobnosti povrchu tuhých látek [19]:

- *absolutní hydrofilní povrch* je takový, na kterém se vodní kapka úplně rozteče a vytěsňuje vzduch, styčný úhel je tupý
- *částečně hydrofilní povrch*, ze kterého voda částečně vytěsňuje vzduch a rovnovážný styčný úhel je ostrý

Je důležité vědět, že absolutní hydrofobní povrchy tuhých látek neexistují. Největší hydrofobnost u vyskytujících se známých hydrofobních látek má parafín, na jehož povrchu je naměřený styčný úhel tečnou k vodní kapalině o hodnotě  $112^\circ$ . Ve flotační praxi se většinou flotují minerály, na kterých je hodnota styčných úhlů menší než  $90^\circ$ . Styčný úhel sulfidů naměřený v destilované vodě dosahuje hodnoty 40 až  $75^\circ$  [19].

### 3.1.1. Hystereze smáčení a její význam pro flotaci

Hydratační vrstva vzniká tehdy, pokud kapalná fáze nahradí plynnou fázi a rozrušuje se tehdy, když plynná fáze nahradí kapalnou z povrchu tuhé fáze.

*V rámci studia hystereze smáčení se objevily tyto zákonitosti [19]:*

- Hystereze je menší, pokud povrch zrna je hladký v porovnání s členitým a drsným povrchem zrna,
- hystereze je větší na hydrofobním povrchu než na hydrofilním,
- při působení tlaku kapalně fáze na plynnou je hystereze výraznější než tehdy, pokud plynná fáze nahrazuje kapalnou.

Během procesu přichytávání minerálního zrna na bubliny vzduchu bude hystereze bránit postupu – nahradí se kapalně fáze plynnou fází, bude se bránit dalšímu zvětšování obvodu smáčení a plochy kontaktu vzduchové bubliny s povrchem minerálu. *Hysterézní styčný úhel* v tomto případě bude menší než rovnovážný, a díky tomuto se zmenšuje pevnost spojení bublinky s minerálem. Hystereze, jak vyplynulo z dosavadních úvah, ovlivňuje elementární akt v samotném momentě spojení a přichycení min. zrna na vzduchové bubliny.

Při odtrhnutí zrna od bubliny dojde k nahrazení kapalně fáze plynnou fází, a přitom se zmenší plocha kontaktu minerál – vzduch. Hysterezní jevy v tom případě budou ztěžovat – bránit odtrhnutí, ale hysterezní úhel bude větší, než je rovnovážný úhel. V tomto případě bude mít hystereze kladný vliv. Ale tato kladná stránka nevykompenzuje záporné stránky hystereze v samotném procesu spojení se bubliny s minerálním zrnem. V dynamických podmínkách hysterezi ovlivňuje hustota a průměr zrna [19].

### 3.2. Stavba a složení flotační soustavy

Pěnovou flotaci charakterizují děje, které se uskutečňují na rozhraní tří fází, které jsou součástí flotačního procesu. Těmi jsou - tuhá fáze (minerální zrna), kapalná fáze (voda, vodný roztok), plynná fáze (vzduch).

#### **Tuhá fáze**

V případě tuhé fáze je přítomný úzký vzájemný vztah mezi chemickým složením, strukturní mřížkou a vazebnými silami mezi stavebními částicemi vně krystalu. V souvislosti s flotovatelností jednotlivých minerálů je důležité složení a strukturní mřížky minerálů, fyzikální a chemické vlastnosti minerálů, energetická charakteristika mřížky a charakter sil působících na lomových plochách minerálního povrchu. Všechny tyto vztahy se projevují při flotaci v ovlivňování interakcí minerálů s plyny, vodou a flotačními reagensy [7].

#### **Kapalná fáze**

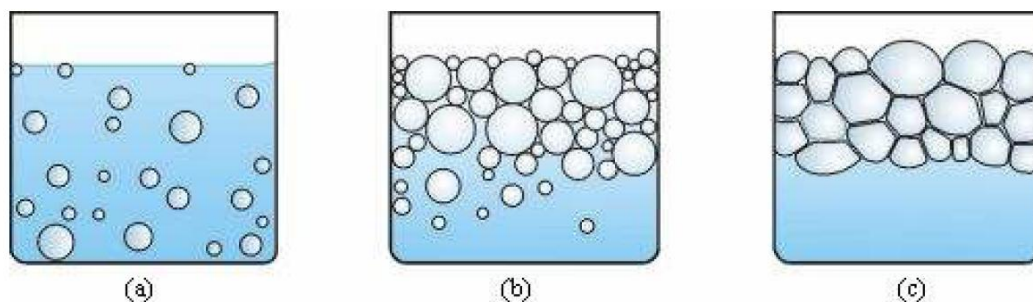
Voda je prostředím tvořené interakcí fází, všech složek rmutu a vzhledem ke specifickým vlastnostem se aktivně zúčastňuje elementárního aktu flotace. Ve flotační praxi je důležité poznat složení a vlastnosti vody (vodného roztoku), ovlivňující selektivitu a činnost flotačního rozdělování. Voda je silně polární kapalina a stejně jako přírodní i průmyslové vody obsahuje většinou více nebo méně zředěné roztoky elektrolytů. Polární molekuly se hydratují nejsilněji a nepolární se hydratují naopak velmi slabě nebo vůbec. Nepolární skupiny bohaté na uhlík se nehydratují, jsou hydrofobní. Voda má schopnost oxidovat nebo redukovat jiné látky [15].

Voda působí na povrch minerálů nejen tím, že ho do určité míry smáčí a vytváří na něm hydratační vrstvu, ale i tím, že způsobuje jeho rozpustnost. Důsledkem vzájemného působení molekul vody s minerálním flotačním rmutem jsou rozrušované strukturní mřížky a hydratované ionty, které odcházejí z povrchu zrn do kapalné fáze rmutu. Minerál se ve vodě rozpouští tehdy, když hydratační energie je větší než energie jeho strukturní mřížky [15].

## Plynná fáze

Při pěnové flotaci mají plyny, které jsou součástí vzduchu, důležité funkce pro průběh a výsledky rozdružování. Do flotačního prostředí se však mohou přivádět plyny v úloze speciálních flotačních reagentů (např. kyslík, síra, oxid siřičitý). Výsledky ukazují, že vodík a kyslík se ve stavu zrodu obzvlášť aktivně uplatňují při elektroflotaci a při rozdružování minerálů velmi jemné zrnitosti [7].

Kyslík se absorbuje na minerálním povrchu, oxiduje ho a ovlivňuje jeho rozpustnost. Vzduchové bublinky přiváděné do flotačního rmutu se mají spojit s hydrofóbním povrchem flotovaného minerálního zrna. Po vytvoření pevného kontaktu vynášejí potom bubliny vzduchu určitá minerální zrna na hladinu rmutu.



Obr. 7 (a) zředěná soustava plyn-kapalina, (b) vlhká pěna, (c) suchá pěna [33]

## Pohyb flotovatelných zrn z kapalinové části rmutu do mineralizované pěny

Plynná fáze, která slouží jako nosič flotovatelných částic minerálů z objemu rmutu do vrstvy mineralizované pěny může flotačnímu systému přivádět různými způsoby. Musí být nepřetržitě v optimálně potřebném množství ve rmutu a přitom vytvořené bublinky musí mít určitou polydisperzní distribuční charakteristiku.

Účinnost flotačního procesu závisí na množství vzduchu přiváděného za časovou jednotku do flotačního prostředí od počtu vytvořených bublinek – stupně disperzity vzduchu. Ve rmutu se má vytvořit dostatečně velký počet vzduchových bublin, aby byla co největší pravděpodobnost střetnutí a spojení minerálu a bublinky [15].

## Rozpustnost plynů

Plyny ze vzduchu se ve vodě různě rozpouštějí v závislosti na určitých faktorech. Těmito faktory jsou [15]:

- *Charakter plynu (polární, nepolární),*
- *velikost molekuly plynu,*
- *teplota,*
- *tlak,*
- *přítomnost dalších plynů ve vodě,*
- *počet a množství druhých minerálů ve rmutu, jako i dalších rozpustných látek, atd..*

### 3.3. Flotační proces

Flotační proces je definován jako způsob rozduřování založený na schopnosti určitých minerálů vyplavat na hladinu flotačního rmutu a ostatních klesat a setrávat v objemu rmutu.

#### a) Flotační rozduřování minerálů na rozhraní *kapalné a plynné fáze*

##### **Pěnová flotace**

Flotační rmut se nasycuje bublinkami plynu, nejčastěji vzduchu. Při pěnové flotaci se spojují flotovatelná minerální zrna s bublinkami vzduchu a jsou vynášena na hladinu rmutu, kde se tvoří vrstva mineralizované pěny. Tento způsob flotace má v praxi největší význam.

*Rozdělení pěnové flotace [15]:*

- *Obyčejná (Pěnová)* – využívá se na všech flotačních úpravách, plynná fáze je vzduch, který se do flotačního prostředí nasává nebo přivádí pod tlakem. Přiváděný vzduch se disperguje ve rmutu pomocným rozličným zařízením, v závislosti na druhu stroje.



- *Vakuová* – provzdušňováním rmutu se dosahuje vylučování bublinek vzduchu z roztoku flotačního prostředí. Vakuová flotace se používá na oddělování velmi jemných minerálních zrn.
- *Chemická nebo plynová* – při této flotaci jsou bublinky plynu výsledkem chemické reakce. Flotovaná minerální zrna se vynášejí vylučováním bublinkami oxidu uhličitého.
- *Elektroflotace* – využívá se povrch bublinek vodíku nebo kyslíku, které vznikají při elektrolýze. Používá se k oddělování jemných a velmi jemných částíček, např. diamantu.
- *lontová* – ke slabému zředěnému roztoku se přidává reagentie, která tvoří s ionty roztoku hydrofobní těžkosuspendní sraženinu. Tato sraženina se pak flotuje běžným způsobem a ze získaného pěnového produktu se regenerací získává zpět použitá reagentie. Lontovou flotací můžeme získávat kovy ze zředěných roztoků průmyslových odpadů, mořské vody apod.

## **b) Flotační rozdělování minerálů na povrchovém rozhraní kapalina – kapalina**

### **Olejová flotace**

Je proces založený na rozdílné schopnosti jednotlivých minerálů uchytit se na povrchu rozhraní voda – olej. Ve rmutu jsou dispergována minerální zrna a kapky oleje. Flotované minerály se přichytí na kapky oleje a udrží se na povrchu rozhraní olej – voda. Neflotovatelné minerály zůstanou v objemu rmutu. Když je hustota oleje menší než 1, vytvořený agregát vyplave na hladinu rmutu, kde se tvoří vrstva mineralizovaného oleje, která se postupně odvádí jako koncentrát.

Při použití oleje vysoké hustoty se olej přivádí v malém množství, potom se ve rmutu vytvářejí těžké agregáty, klesající na dno, a olejem nesmáčená zrna se vzestupným proudem vody vynášejí na hladinu a odchází jako odpad. V některých zahraničních úpravárnách se používá na úpravu koksovatelného uhlí.

Povrchové rozhraní tuk – voda se používá na zachytávání diamantů. Na tukovém povrchu splavu se diamanty zachytávají ve vrstvě viskózního tuku (vazelína) a rmut, tekoucí nad touto vrstvou, odplavuje doprovodné minerály [19].

### **c) Flotační procesy na rozhraní tuhá – kapalná a tuhá – plynná fáze**

Takové procesy jsou dosud málo prozkoumané. Výzkumy v laboratorních podmínkách zatím prokázaly, že se mohou zachytit některé minerály a oddělit ze rmutu (flotace na tuhé stěně). Nyní se aplikuje realizace na nosičích. Tento způsob flotace zvyšuje výtěžnost velmi jemných hydrofobních minerálních zrn [19].

#### **3.3.1. Technologie flotace vlivem jevů při flotačním procesu**

Flotovatelnost uhlí je závislá na několika hlavních faktorech. Jsou to obsah uhlíku, stupeň prouhelnění, typ uhlí a další. Uhlí snáze flotuje se zvyšujícím se obsahem uhlíku a stupněm prouhelnění. Neplatí to ovšem pro antracitové uhlí a antracit. Se stupněm prouhelnění rovněž souvisí povrchové vlastnosti uhlí. Se zvyšujícím se prouhelněním se snižuje obsah kyslíku, snižuje se vnitřní povrch, zvyšuje se obsah uhlíku a hydrofobita.

Dále je flotovatelnost závislá na vlastnostech suroviny, které jsou přirozené a nemůžeme je ovlivnit. Jsou to hlavně mineralogicko-petrografické složení, chemické složení, stupeň prouhelnění, charakter prorostlin distribuce pórů, velikost povrchu, hustota a další. Tyto faktory, které můžeme ovlivňovat využíváme ke zvýšení účinnosti flotace. Jsou to vstupní zrnitost, zahuštění rmutu, dávka a typ činidel, pH rmutu, provzdušnění, doba flotace a další [15].

*Úspěch při průmyslových flotacích je spojen s důkladným poznáním interakce mezi třemi komponenty konkrétního flotačního rozdružování, a těmi jsou [7]:*

- *mineralogická charakteristika*
- *fyzikálně-chemické činitele* ovlivňující smáčitelnost, agregačně- dispergační jevy, adsorpci flotačních reagentů v závislosti na druhu a koncentraci jako i tvorbu agregátů bubliny a zrna,

- *činitelé flotačního procesu v závislosti na:* přípravě vsázky, volbě flotačního stroje, volbě schématu flotačního cyklu a provozních parametrů.

## **Flotovatelnost minerálů**

*Z hlediska flotovatelnosti je možné minerály zařadit do dvou hlavních skupin:*

### **a) Minerály s nepolárním povrchem**

Do této skupiny patří *grafit, síra, molybdenit, diamat, mastek*. Tyto minerály se skládají z molekul, které jsou navzájem vázány van der Walsovými silami. Povrchové vlastnosti těchto minerálů určují molekulové vazbové síly, které jsou relativně slabší v porovnání s jinými druhy vazebných sil. Díky tomu nepolární povrchy minerálních zrn odpuzují dipóly molekuly vody. Minerály této skupiny charakterizuje velký přírodní styčný úhel, který je v rozpětí 60 – 90, a to podmiňuje vysokou přirozenou flotovatelnost nepolárních minerálů [7].

### **b) Minerály s polárním povrchem**

Povrch minerálů se charakterizuje v souvislosti s heteropolární, nebo homeopolární polární vazbou. Tyto typy vazeb jsou velmi silné, z toho vyplývá velká hodnota volné povrchové energie polárního povrchu.

## **Obsah složek v surovině**

V surovině se nachází velké množství různého počtu a množství složek. Stupeň výtěžnosti každé složky do jednotlivých koncentrátů závisí i od jejího obsahu ve výchozí surovině. Při stálých podmínkách flotace výtěžnost narůstá se zvyšováním obsahu dané složky v surovině. Ovšem může existovat i případ, že surovina, která je velmi bohatá na užité složky, je těžce flotovatelná, a to se projeví i na její výtěžnosti. Naopak ze suroviny s nízkým obsahem užitečných složek, které jsou lehce flotovatelné, se vyrobí kvalitní koncentráty s vysokou výtěžností [15].

## **Minerální složení**

Na určité skupiny minerálů se užívají rozdílné reagenční režimy → postupná flotace. Možnost selektivní flotace je závislá na velikosti rozdílů fyzikálně – chemických vlastností navzájem oddělovaných minerálů (složek) suroviny.

## **Zrnitost výchozí suroviny a otevření zrna**

V mnohých případech nelze dosáhnout úplného otevření všech prorostlin a vtroušenin jednotlivých složek. Bylo by potřeba velmi jemného mletí celého množství výchozí suroviny. V procesu je možný vznik nebezpečí výrazného přemílání minerálů, a to je z ekonomického a technologického hlediska neúčelné [7].

*Při mletí suroviny na konečnou zrnitost se musí splnit tyto požadavky [7]:*

- Je nutné zabezpečit otevření srostlých a vtroušených zrn jednotlivých minerálů tak, aby základní masa flotovatelných minerálů se oddělila od průvodní horniny.
- Je nutné vytvořit takové zrnitostní složení, aby průměry zrn flotovaného minerálu nepřesáhly horní a dolní hranici zrnitosti. Při překročení hranice zrnitosti minerálního zrna nelze uskutečnit spojení s bublinami vzduchu a k flotaci nedojde. Jemná zrna zpomalují flotaci a zbytečně se zvyšuje spotřeba reagensů.

## **Teplota a složení flotačního prostředí**

Teplota má nesporný vliv na zlepšení průběhu a výsledku flotace. Účinek teploty však není podrobně prozkoumán a v praxi se dosud nevyužívá. Nynější výzkumy ukazují, že teplota je jedním z důležitých parametrů flotace. Zvyšováním teploty je možné dosáhnout kladného účinku na kinetiku flotace (což znamená zkrácení flotačního času), dojde ke snížení spotřeby sběrače, zvyšuje se kvalita koncentráту a výtěžnost flotovatelné složky do pěnového extraktu, vytváří se charakteristické parametry pěny a rovněž se zvýší ostrost rozdružování [7].

## Reagenční režim

Reagenční režim představuje druh a charakter používaných činidel, jejich množství, pořadí, ve kterém se dávkuje do flotačního procesu a čas potřebný ke kontaktu reagensů s flotovanými zrny.

*Flotační činidla se dávkuje tímto způsobem [7]:*

- Jako první se dávkuje regulující a řídící flotační činidla (vzhledem k pH prostředí, aj.).
- Druhé v pořadí se dávkuje sběrače, které zlepšují požadovanou hydrofobnost a elementární akt flotace.
- Jako poslední se přidává pěnič, pomocí kterého se tvoří mineralizovaná pěna na hladině flotačního prostředí.

Je dobré vědět, že uvedené pořadí může mít v konkrétních případech svoje specifika. Když potřebují reagenty dost dlouhý čas pro kontakt s minerály, jde převážně o řídící reagenty, dávkuje se už do mlýna, přepadu třidiče, před čerpadla dávkuje rmut nebo do mísících zařízení. Tím se rmut lépe promíchá s reagenty.

Sběrače obvykle vyžadují 5 až 10 minut kontaktu s flotovanými složkami, proto se dávkuje do mísících nádrží. V některých případech (např. když povrch minerálu velmi rychle reaguje se sběračem) je lepší dávkovat sběrač po částech. V těchto případech se určité množství sběrače dávkuje do mísící nádrže a další dávky se dávkuje do flotačních komor. Postupné dávkování sběrače se používá většinou při flotaci černého uhlí. Pěniče se dávkuje přímo do flotačních komor. Čas kontaktu s plynou fází rmutu nemusí být větší než 1 až 2 minuty [19].

### 3.3.2. Flotační činidla a mechanismus jejich působení

Nejdůležitější flotační reagenty pro flotaci uhlí se dělí na dvě základní skupiny, kterými jsou nepolární (oleje) a heteropolární činidla. Hlavními představiteli nepolárních činidel jsou kerozíny. K činidlům s heteropolární stavbou molekul patří např. alkoholy. Oleje mají hlavně sběrací vlastnosti. Emulgují se na malé kapičky,

kteřé se přichycují k hydrofobním částicím a zvyšují jejich hydrofobnost. Druhou vlastností těchto reagentů je flokulace uhelných částic a regulování vlastností pěny. Heteropolární činidla jsou aktivními pěniči a současně při flotaci uhlí mají sběrací vlastnosti. Adsorbují se svými polárními skupinami na hydrofilnějších místech povrchu uhelných částic [7].

#### *Klasifikace flotačních činidel [13]:*

- Sběrače - jsou heteropolární směsi, adsorbují ve fázovém rozhraní pevná látka/ kapalina. Díky tomu mění hydrofilní povrch na hydrofobní. Patří sem směsi síry, mastné kyseliny, alkylsulfidy, alkylfosfáty, alkylaminy, chelatinová činidla a oleje s funkcí jako sběrače.
- Depresory - jsou směsi zvyšující interakci minerálního povrchu s molekulami vody na adsorpci, zabraňují adsorpci sběračů. Patří sem křemičitan sodný, kyanid, sulfid, zásada, chromany, dichromany, polyfosfáty, ionty kovu, syntetické polymery a přírodní polymery např. klovatina, škrob, tannin.
- Aktivátory - jsou chemikálie přidané do flotačního rmutu, způsobují adsorpci sběračů na určitý minerál. Jsou to soli mědi, sulfidy, fluoridy a ionty kovu fungující jako aktivátory.
- Modifikátory - jsou směsi, které upravují flotační systém tím, že regulují rozpouštění, chemismus, dispergaci nebo aglomeraci částic. Jedná se o množství anorganických nebo organických směsí, působí jako modifikátory. Jsou to pH regulátory jako sírná a chlorovodíková kyselina, sírový a uhlíkový dioxid, žíravá soda, vápenec a hydroxid amonný.
- Pěniče - jsou aktivní povrchová činidla, pomáhají při vytvoření a stabilizaci pěny, pomocí které jsou sbírány hydrofobní částice. Patří mezi ně aromatické alkoholy, methylisobutylcarbinol, alkoxy-substituované parafíny jako triethoxybutan a polypropylenglykol ether.

Největší sběrací schopnosti mají reagenty s hydroxylovou polární skupinou, potom sulfo- skupina nakonec karboxy- skupina. Největší sběrací schopnosti mají také alkoholy s 6-8 uhlíky v nepolární části alkoholu. Zvýšení hydrofobního účinku

na povrchu uhelných zrn ve flotaci se může dosáhnout adsorpcí alifatických alkoholů, jejichž přítomnost způsobuje snížení zeta-potenciálu. Hydrofobní účinek, který je spojený se snížením povrchové energie důsledkem přítomnosti OH skupiny, se zvýší s délkou alifatického řetězce alkoholu. Při použití nepolárních uhlovodíků jako sběračů je vhodná jejich emulgace, čímž se sníží spotřeba a zvýší účinnost. Pro zvětralé a oxidované povrchy uhelných zrn účinným sběračem jsou aminy. Souvisí to se záporným nábojem povrchu oxidovaných zrn uhlí.

Důležitou úlohu při flotaci uhlí má i vápno dávkované jako vápenné mléko  $\text{Ca(OH)}_2$ . Vápno potlačuje vliv jemných kalových podílů ve rmutu a současně potlačuje flotovatelnost pyritu a markazitu, které jsou nositeli síry v uhlí, ta je nežádoucí složkou. Podobný účinek má i soda. Když je pyrit velmi jemně prorostlý s uhlíkem, jeho flotovatelnost není možné potlačit a v získaném koncentrátu se tím omezuje možnost snížení obsahu síry. K technologickým zvláštnostem flotace uhlí patří nezbytnost potlačit škodlivý vliv jemně dispergovaných hlinito-jílových kalů, sádrovce nebo organických látek a bitumenizovaných hornin. Na dispergování velmi jemných zrn se používá vodní sklo, pyrofosfáty nebo sulfátový louh [7].

### 3.4. Flotační stroje

Flotační stroje prochází neustálým vývojem, ty současné vychází ze základních poznatků teorie flotačního procesu, jsou přizpůsobovány podmínkám rostoucího množství těžných surovin a zhoršující se kvalitou. Konstrukce flotačních strojů se zaměřuje na optimální požadavky při samotném flotačním procesu, na ulehčení práce a zohledňují fyzikální, chemické, hydromechanické a další procesy, které probíhají při flotaci.

Základní rozdělení flotačních strojů lze provést dle jejich konstrukce a způsobu promíchávání a provzdušňování rmutu [19]:

- Mechanické flotační stroje,
- pneumatické flotační stroje,
- pneumacko-mechanické (kombinované) flotační stroje,
- jiné konstrukce flotačních strojů

### 3.4.1. Flotační přístroje mechanické

V současnosti se využívá v rudných i uhelných úpravkách velké množství flotačních strojů různé konstrukce. K nejznámějším patří Mechanobr, Denver, Humboldt, Worman, Wemco-Fegergren a další. Jednotlivé flotační stroje se odlišují konstrukcí míchadel. Míchadlo, které se skládá ze statoru a rotoru, vykonává úlohu dispergátoru a má i nasávací účinek čerpadla. Míchadlo musí mít tvar, který zabezpečí dobré provzdušnění, ale současně vyvolává dostatečně velký podtlak na proudění rmutu z jedné flotační komory do následující komory flotační baterie.

Flotátory se konstruují tak, aby dvě nebo čtyři komory tvořily samostatnou jednotku a ty se podle potřeby zařazují vzájemným přepojením do baterie. Mechanické flotační stroje můžeme rozdělit podle způsobu proudění rmutu z původní do následující komory na [15]:

- **Komorové flotační stroje**

Výška hladiny rmutu se reguluje v každé komoře flotační baterie. Rmut přechází z jedné komory do druhé přes mezistěnu, ve které je posuvací uzávěr na regulaci výšky hladiny. Rotorem míchadla je nasáván rmut, resp. nepěnový produkt z předcházející komory. Složitá regulace hladiny rmutu v jednotlivých komorách bývá nevýhodou vyššího využití těchto flotačních strojů.

- **Průtokové**

V průtokových flotačních strojích proudí rmut v jednotlivých komorách po celé délce flotační baterie samospádem. Výška hladiny rmutu se reguluje pouze v poslední komoře, a tím se zabezpečuje stejné průtokové množství rmutu do prostoru míchadla. Nedostatkem těchto flotačních strojů je, že není stejná výška hladiny rmutu, a proto se musí stěrače pěnového produktu nastavovat pro každou flotační komoru zvlášť.



- **Komorovo-průtokové**

Tyto flotační stroje bývají sestavované do sekcí skládajících se z několika komor. První flotační sekce se nazývá nasávací a rmut se přivádí bezprostředně do prostoru míchadla, ostatní komory pracují jako průtokové. Výška hladiny se reguluje v poslední komoře každé sekce.

### **3.4.2. Flotační přístroje pneumatické**

Flotační stroje pneumatické se vytváří bez míchadla a promíchávání, rmut se provzdušňuje stlačeným vzduchem. Vzduch se do flotačního prostředí vhání pórovitým dnem nebo se přivádí shora. Přestože vynikají menší spotřebou energie a nenáročnou obsluhou, téměř se nepoužívají. Principem jejich konstrukce je vzduch, který přechází pod tlakem přes pórovité dno, které je vytvořeno z vrstvy tkaniny či gumy. Stlačený vzduch, přiváděný z tlakové nádrže přes póry do flotačního prostředí, se v něm rozdělí na velký počet bublin.

Flotovaná surovina je v kontaktu s flotačními činidly v míchadlových nádržích, odkud dále proudí do flotačních komor. Opracovaný rmut se dokonale provzdušňuje v rotátoru, kde se vytváří bohatá mineralizovaná pěna. Nedostatkem těchto strojů bývá časté a rychlé ucpávání pórů. Dnes se používají častěji spíše trysky, dýzy, atp. [19].

### **3.4.3. Pneumaticko-mechanické (kombinované)**

Charakteristickou vlastností kombinovaných flotačních strojů je rotor, který se otáčí rychlostí potřebnou na dispergaci minerálních zrn a vzduchových bublin. Vzduch se přivádí do flotačního prostředí z kompresoru či dmyhadla pod určitým tlakem (10-30 kPa).

Velkou předností těchto flotačních strojů je množství přiváděného vzduchu do rotátoru, které není závislé na otáčkách rotoru. Proto se může velmi přesně regulovat vháněné množství vzduchu, dle potřeby jednotlivých strojů [19].

#### **3.4.4. Jiné konstrukce flotačních strojů**

Dále se vyrábí flotační mechanické stroje. Jsou to flotační stroje s fluidní vrstvou, injektorové flotační stroje, cyklonové flotační stroje, vibrační flotační stroje, vakuové flotační stroje. Jejich využití se však na úpravkách uhlí nepředpokládá [19].

## 4. Realizace laboratorních experimentů na flotační lince

V experimentální části práce popisují průběh pokusů testování flotačních činidel Montanol 551 s flotačními činidly na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva – KOPD 9 a KOPD 11. Jednotlivé pokusy byly prováděny na vzorcích uhlí z dolu Jankowice (Polsko). Flotační testy byly provedeny na VŠB – TU Ostrava v laboratoři Institutu environmentálního inženýrství. Byla aplikována technologie flotace na poloprovozním rotátoru (obr. 9), jednotlivé flotační koncentráty byly odebírány po 2., 4., 6. a 10. minutě (obr. 11).

Pro jednotlivé pokusy bylo naváženo uhlí z Jankowic o váze 1800g. Poté byly přidávány dle jednotlivých pokusů flotační činidla (Montanol 551, KOPD 9, KOPD 11) s depresory, které se lišily pro jednotlivé testy – vápenné mléko vždy o objemu 20ml, popř. vodní sklo o objemu 5ml. Poté došlo k zamíchání (obr. 8) a následná flotace (obr. 10, obr. 11).



*Obr. 8 Míchání zahuštěného rmutu*



*Obr. 9 Laboratorní poloprovozní flotátor*



*Obr. 10 Flotace*



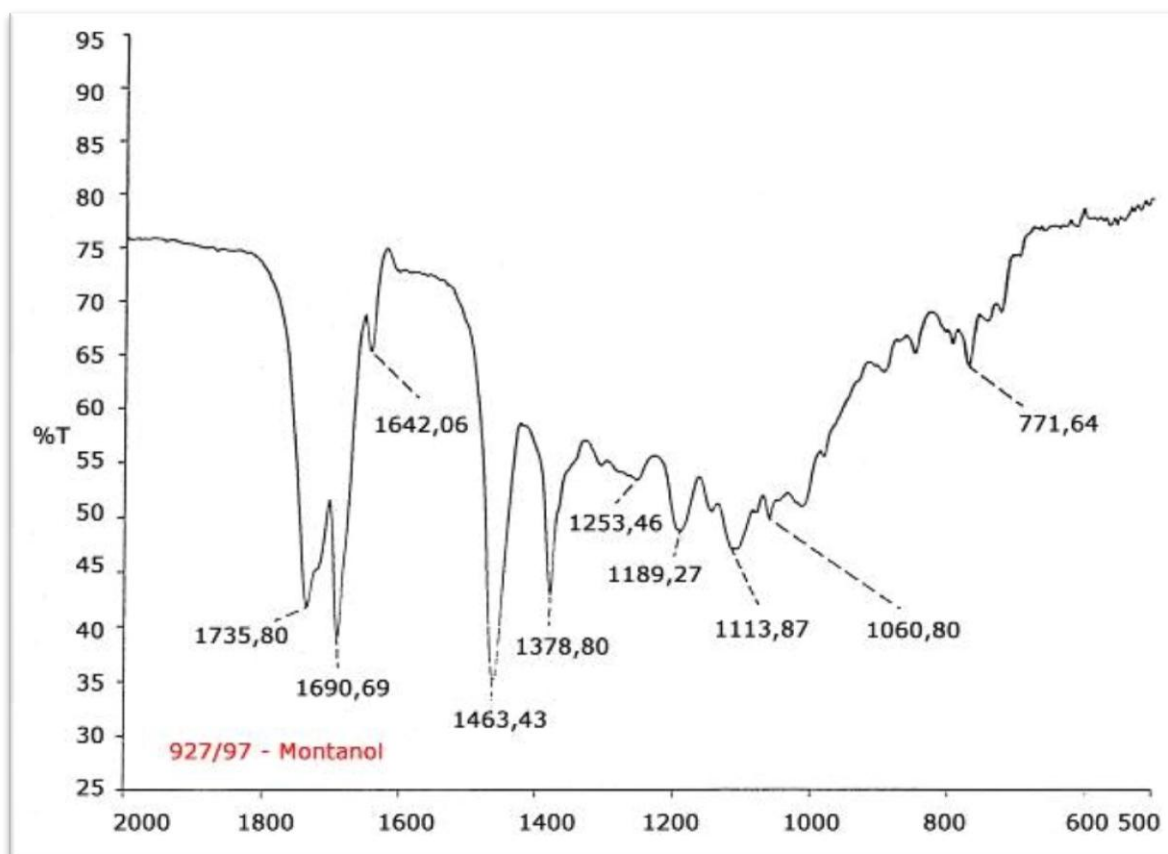
*Obr. 11 Odvod flotovaných čistic*

Po ukončení flotace byl flotační koncentrát i odpad zfiltrován na tlakovém filtru a vysušen v sušárně při teplotě do 105°C. Vysušený vzorek se poté zvážil, zkvartoval a provedla se analýza obsahu popela dle ČSN 44 1341.

#### **4.1. Charakteristika použitých flotačních činidel**

##### **MONTANOL 551**

Vzhledem k tomu, že výrobci neuvádějí chemické složení flotačních činidel, byly tyto sběrače podrobeny infračervené (IČ) spektroskopii. IČ spektroskopie byla provedena v centrální analytické laboratoři na VŠB TU v Ostravě. Výsledky IČ spektroskopických záznamů jsou uvedeny na obr. 12.



Obr. 12 IČ – spektroskopické záznamy testovaných flotačních činidel Montanol

Montanol 551 má na základě analýzy IČ spekter následující složení: karboxylové sloučeniny, aromatické a alifatické uhlovodíky, alkeny, alkoholy, fenoly, glykoly, estery, ethery a alkány.

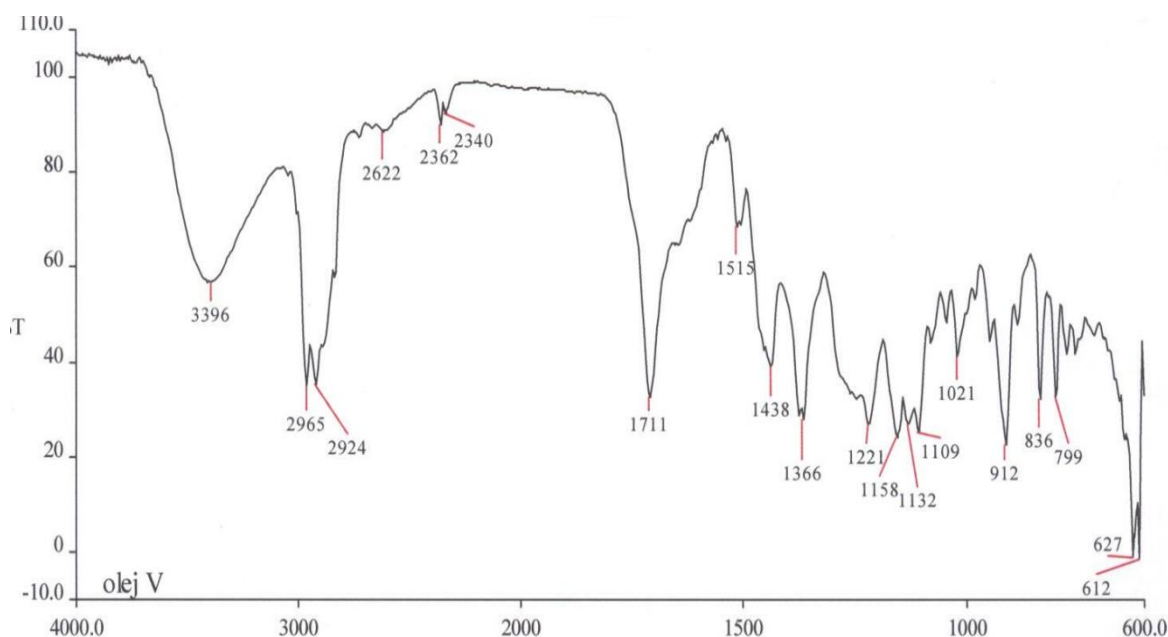
## KOPD

Jedná se o dva sběrače přibližně stejného IČ spektra. V současnosti se výzkum v oblasti vývoje nových flotačních činidel pro uhlí zaměřuje na využití různých organických odpadů s obsahem řady uhlovodíků, jako jsou například různé druhy opotřebovaných olejů a podobně. Do této kategorie je možné zařadit i pyrolýzní kondenzát vznikající při výrobě aktivního uhlí v SLZ, a.s., Hnúšťa. Výsledky IČ spektroskopických záznamů jsou uvedeny na obr. 13.

Jeho složení deklarované producentem je následující:

Zastoupení složek: 14,7 %  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 3,0%  $\text{CH}_3\text{OH}$ , 18,3%  $\text{CH}_3\text{H}_{20}\text{O}_4$ ,  
64,5% $\text{H}_2\text{O}$

Zastoupení prvků: 18,7% C, 2,87% H, 13,99 O, 64,5 %  $\text{H}_2\text{O}$ .



Obr. 13 IČ – spektroskopické záznamy flotačních činidel KOPD

Z porovnání výsledků infračervené spektrální analýzy vyplynulo, že pyrolýzní kondenzát obsahuje některé složky obsažené v obou porovnávaných standartních, komerčně využívaných sběračů a proto se stal základem pro vývoj nového flotačního sběrače KOPD, který je předmětem návrhu v patentovém konání.

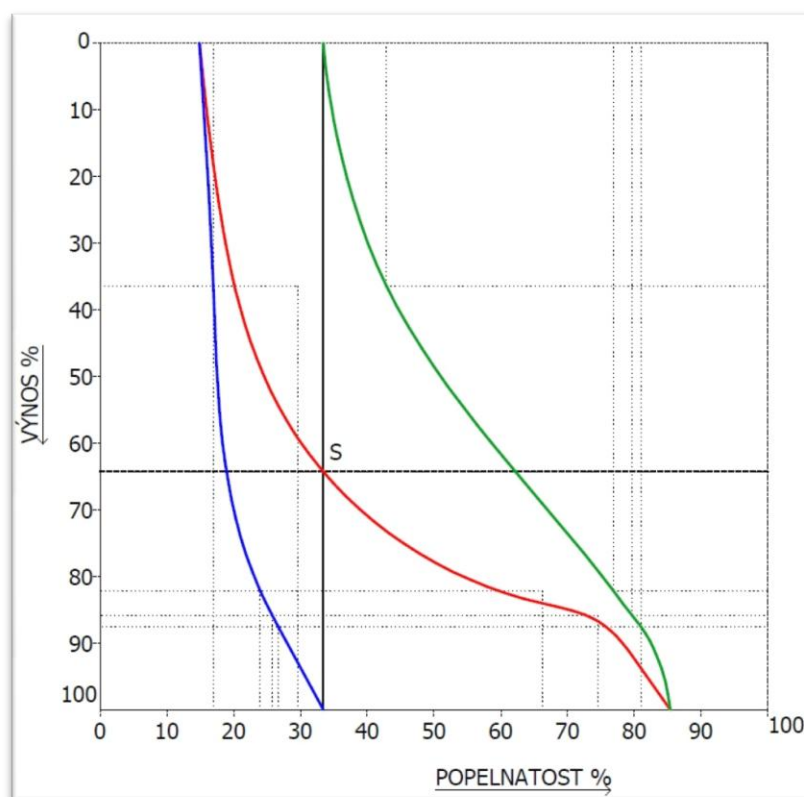
## 4.2. Flotační testy

Odběr vzorků surového uhlí byl proveden podle ČSN 44 1301. Plavící rozbor vzorku surového uhlí dle ČSN 44 1341. Po provedení flotačních pokusů, vysušení a zkvartování jednotlivých vzorků proběhlo vyhodnocení a zapsání do tabulek (viz tab. 1 až tab. 5). Dle tabulek jsou zpracovány křivky upravitelnosti a jednotlivé pokusy vyhodnoceny.



**Vzorek č. 1**Tab. 1 Vzorek č. 1,  $r_{mut} = 1800 \text{ g/l}$ , Montanol = 2,14g,  $\text{Ca(OH)}_2 = 20 \text{ ml}$ 

frakce	flotační čas [min]	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Množství popela	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KP1	<2	36,4	17,0	617,3	617,3	36,4	17,0	3343,1	100,0	33,4
KP2	2-4	45,8	29,6	1357,1	1974,4	82,2	24,0	2725,7	63,6	42,9
KP3	4-6	3,7	66,2	244,9	2219,3	85,9	25,8	1368,7	17,8	76,9
KP4	6-10	1,6	74,6	119,3	2338,6	87,6	26,7	1123,8	14,1	79,7
OP1	>10	12,4	81,0	1004,5	3343,1	100,0	33,4	1004,5	12,4	81,0
<b>součet</b>		100,0		3343,1						



Obr. 14 vzorek č. 1 – Montanol 551

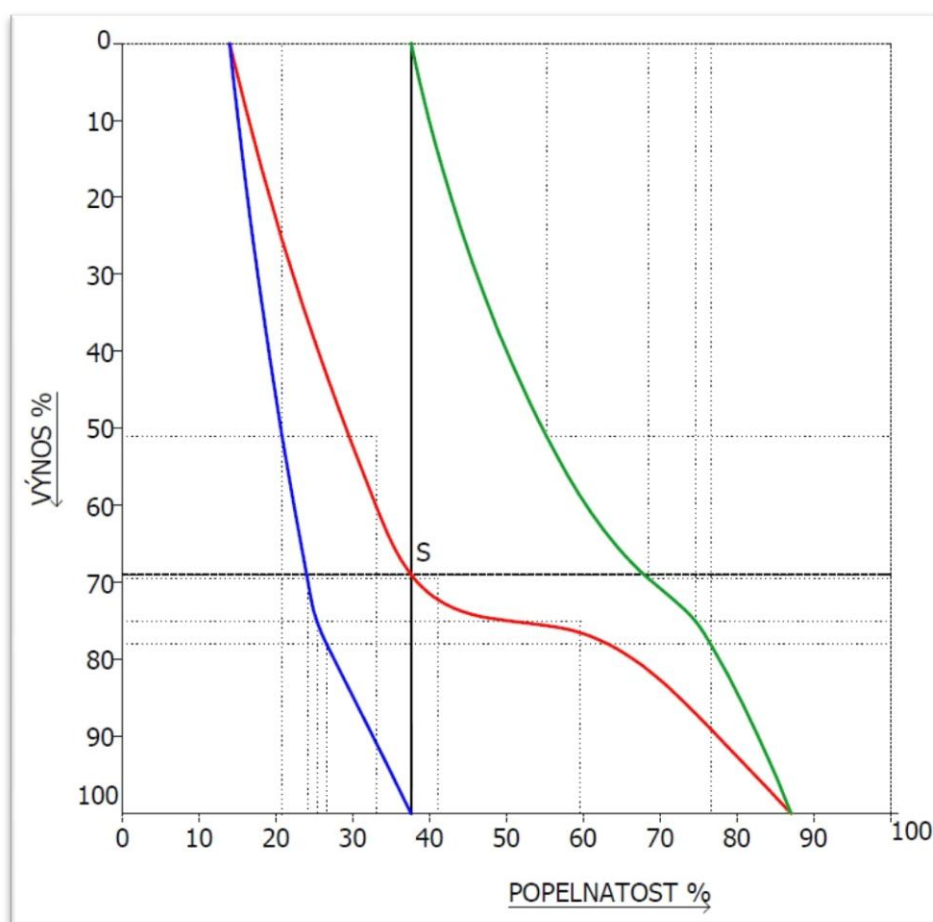
Z grafu upravitelnosti lze vyčíst *snadnou upravitelnost* činidla Montanol 551 na vzorku uhlí z Jankovic. Obsah popela v prvních dvou minutách se pohybuje kolem 17% na 36,4% výnosu, při srovnání s obsahem popela po čtyřech minutách již přibývá popel 29,6% a zmenšuje se výnos 45,8%. Můžeme říci, že v případě tohoto činidla je ideální doba flotace do 2 minut při nejvyšším výnosu.



## Vzorek č. 2

Tab. 2 Vzorek č. 2,  $r_{mut} = 1800 \text{ g/l}$ ,  $KOPD\ 11 = 2,14\text{g}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2 = 20 \text{ ml}$

frakce	flotační čas [min]	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Množství popela	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KP5	<2	51,0	20,8	1060,8	1060,8	51,0	20,8	3763,3	100,0	37,6
KP6	2-4	18,5	33,1	612,4	1673,2	69,5	24,1	2702,5	49,0	55,2
KP7	4-6	5,5	41,1	226,1	1899,3	75,0	25,3	2090,1	30,5	68,5
KP8	6-10	3,0	59,6	178,8	2078,1	78,0	26,6	1864,0	25,0	74,6
OP2	>10	22,0	76,6	1685,2	3763,3	100,0	376,3	1685,2	22,0	76,6
<b>součet</b>		100,0		3763,3						



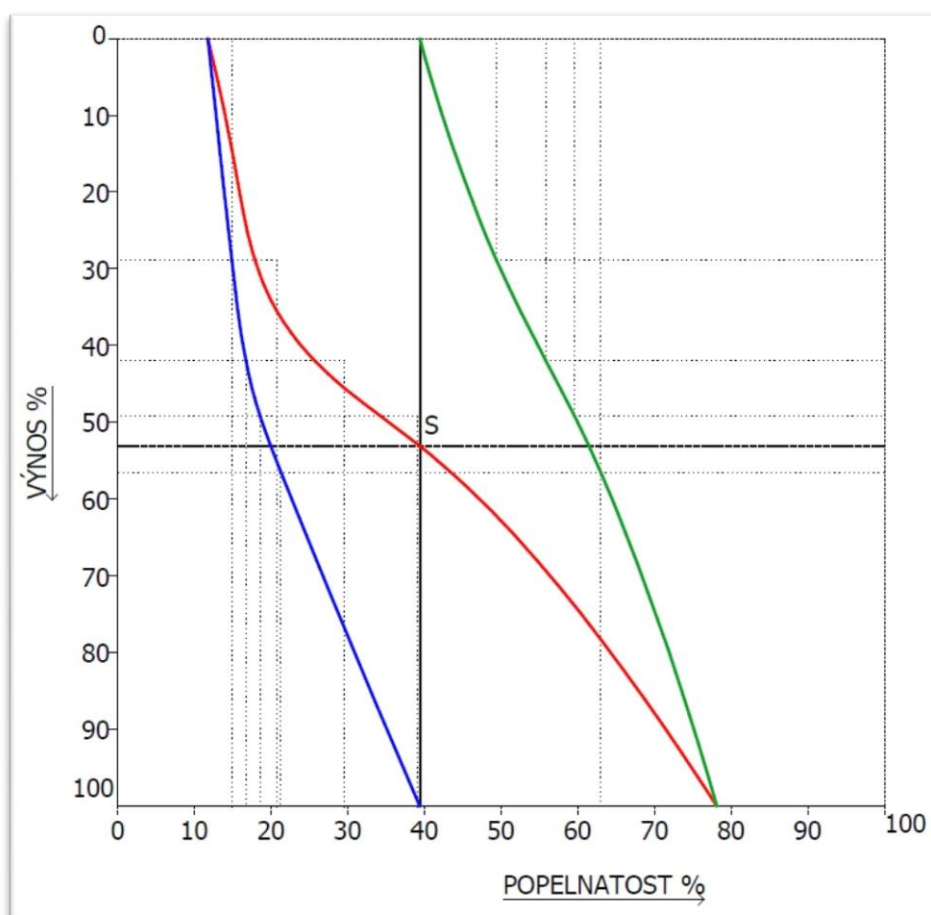
Obr. 15 vzorek č. 2 – KOPD 11

S použitím činidla KOPD 11 se jeví *snadná upravitelnost* uhlí. Velký výnos v prvních dvou minutách na relativně velkém obsahu popela a poté rychlé snížení výnosu v dalších minutách značí zkrátit flotační čas na dobu 1 min., tím získáme kvalitnější flotační koncentrát s menším výnosem.

### Vzorek č. 3

Tab. 3 Vzorek č. 3,  $r_{mut} = 1800 \text{ g/l}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2 = 20 \text{ ml}$ ,  $\text{KOPD 9} = 2,14 \text{ g}$

frakce	flotační čas [min]	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Množství popela	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KP9	<2	28,9	14,9	430,6	430,6	28,9	14,9	3941,7	100,0	39,4
KP10	2-4	13,0	20,7	269,1	699,7	41,9	16,7	3511,1	71,1	49,4
KP11	4-6	7,3	29,6	216,1	915,8	49,2	18,6	3242,0	58,1	55,8
KP12	6-10	7,3	39,1	285,4	1201,2	56,5	21,3	3025,9	50,8	59,6
OP3	>10	43,5	63,0	2740,5	3941,7	100,0	39,4	2740,5	43,5	63,0
<b>součet</b>		100,0		3941,7						



Obr. 16 vzorek č. 3 – KOPD 9

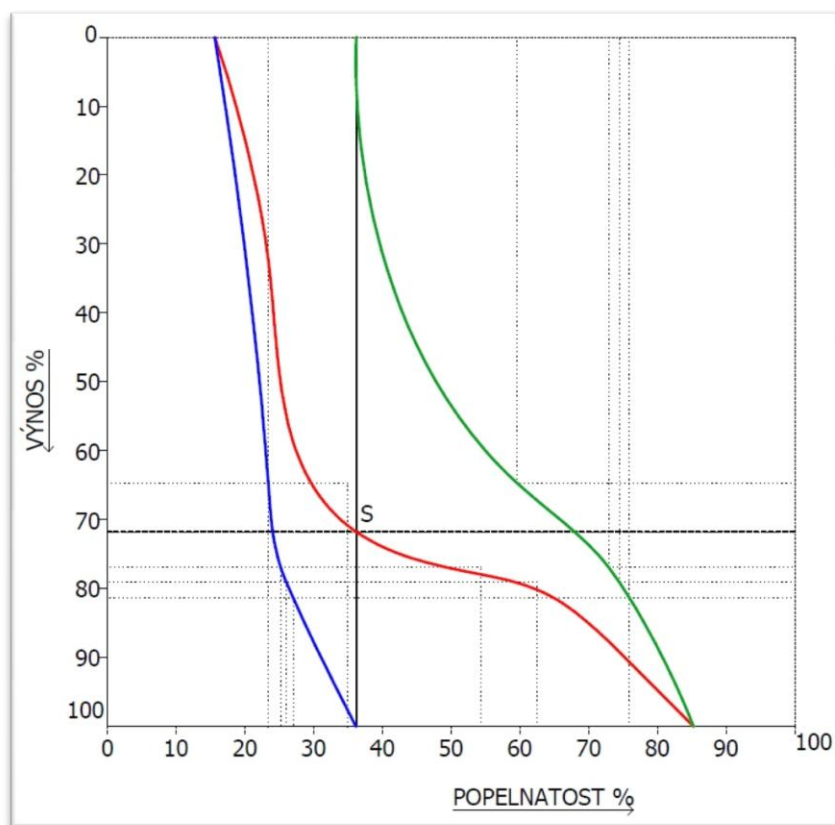
V případě dávkování  $\text{Ca(OH)}_2$  do rmutu jako prvního v pořadí a následné přidání KOPD 9 došlo u stejného vzorku uhlí k *obtížné upravitelnosti*, což má za následek *nízkou výtěžnost s velkým obsahem popela* ve všech odběrných časech.

**Vzorek č. 4**

Po přidání  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  do rmutu došlo k prvnímu míchání 5 min, poté se přidalo KOPD 9 a došlo k dalšímu míchání rovněž 5 min.

Tab. 4 Vzorek č. 4,  $\text{rmut} = 1800 \text{ g/l}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 20 \text{ ml}$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 5 \text{ ml}$ ,  $\text{KOPD 9} = 2,14 \text{ g}$

frakce	flotační čas [min]	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Množství popela	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KP13	<2	64,7	23,4	1514,0	1514,0	64,7	23,4	3616,2	100,0	36,2
KP14	4-6	12,2	34,9	425,8	1939,8	76,9	25,2	2102,2	35,0	59,6
KP15	6-10	2,1	54,4	114,2	2054,0	79,0	26,0	1676,4	23,0	72,9
KP16	>10	2,3	62,5	143,8	2197,8	81,3	27,0	1562,2	21,0	74,4
OP4		18,7	75,9	1418,4	3616,2	100,0	36,2	1418,4	18,0	75,9
<b>součet</b>		100,0		3616,2						



Obr. 17 vzorek č. 4 – KOPD 9

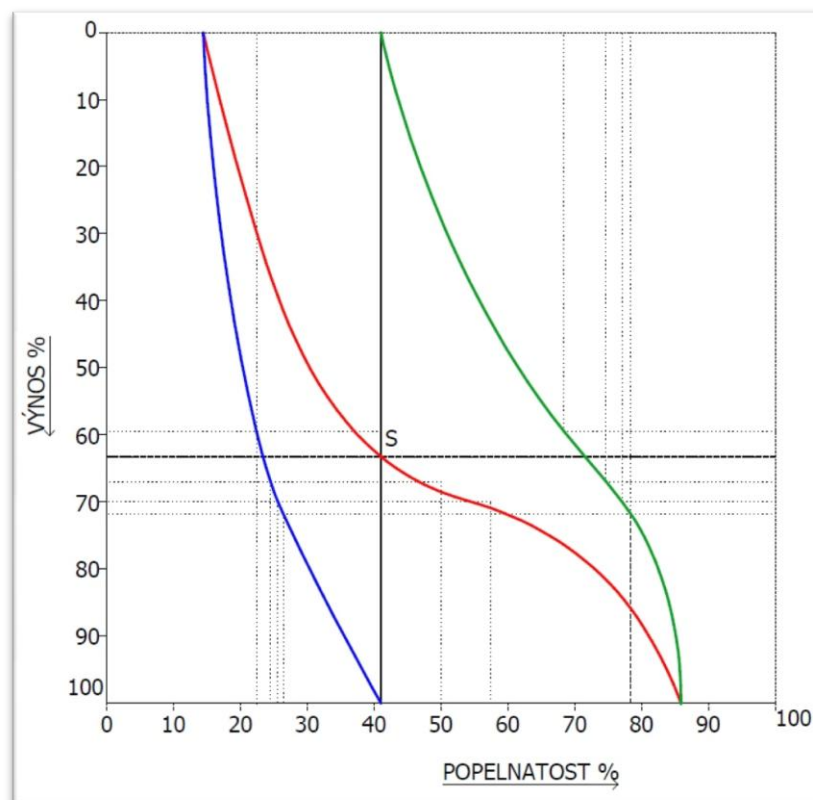
S použitím činidla KOPD 9 a depresorů v námi testovaném pořadí se jeví *snadná upravitelnost* uhlí. V prvních dvou minutách byl velký výnos 64,7% na obsah popela 23,45% doporučuje se zkrátit flotační čas na dobu 1 min., čímž získáme kvalitnější flotační koncentrát s menším výnosem popela.

**Vzorek č. 5**

Po přidání  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  do rmutu došlo k prvnímu míchání 5 min, poté se přidalo KOPD 11 a došlo k dalšímu míchání rovněž 5 min.

Tab. 5 Vzorek č. 5,  $r_{\text{mut}} = 1800 \text{ g/l}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 20 \text{ ml}$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 5 \text{ ml}$ , KOPD 11 = 2,14 g

frakce	flotační čas [min]	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Množství popela	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]	Součet množství popela	Součet výnosů [%]	Obsah popela [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KP17	<2	59,5	22,4	1332,8	1332,8	59,5	22,4	4104,5	100,0	41,0
KP18	4-6	7,5	41,0	307,5	1640,3	67,0	24,5	2771,7	40,5	68,4
KP19	6-10	3,0	50,0	150,0	1790,3	70,0	25,6	2464,2	33,0	74,7
KP20	>10	1,8	57,4	103,3	1893,6	71,8	26,4	2314,2	30,0	77,1
OP5		28,2	78,4	2210,9	4104,5	100,0	41,0	2210,9	28,2	78,4
<b>součet</b>		100,0		4104,5						



Obr. 18 vzorek č. 5 – KOPD 11

S použitím činidla KOPD 11 a depresorů v námi testovaném pořadí se rovněž v tomto pokusu ukázala *snadná upravitelnost* uhlí. Vzhledem k velkému výnosu a vyššímu obsahu popela je žádoucí zkrátit flotační čas na 1 min., tím získáme kvalitnější flotační koncentrát s menším výnosem popela.

## 5. Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil na využití flotačních činidel na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva na flotační lince. Nejprve jsou uvedeny teoretické základy flotačního procesu, jejichž pomocí jsem se snažil přiblížit probíhající procesy úpravy jemnozrnných surovin pomocí flotace.

V experimentální části jsem porovnal flotovatelnost na stejném vzorku uhlí z dolu Jankowice (Polsko) u klasického činidla, který je v současné době na tuzemských úpravárnách nejvíce používán (Montanol 551) s činidly na bázi odpadů z pyrolýzy dřeva. Konkrétně byly testovány činidla označené jako KOPD 9 a KOPD 11.

Z výsledků flotačních experimentů vyplynulo, že všechna zkoumaná činidla je možné použít pro flotaci černého uhlí – hlavně pro flotaci koksovatelného uhlí. Využití těchto činidel před zavedením do úpravárenského procesu vyžaduje další testování na poloprovozních flotátorech v praxi, které se mohou od mnou provedených testů v laboratorních podmínkách částečně lišit. Jako další z argumentů pro snahu pokusit se využít činidla KOPD přispívá i vysoká cena činidla Montanol 551, která by mohla být jedním z důvodů začít využívat flotační činidla KOPD 9 a KOPD 11 na našich úpravárnách. I přes prokazatelně vyšší náklady v porovnání s jinými způsoby úpravy zůstává flotace nejvyšší možností, jak separovat jemné frakce.

## 6. Literatura

- [1] BEDEKOVIĆ, G., FEČKO, P., RIEDLOVÁ, S. *Testing of coal flotability from mine Lazy*. Sborník: 7th Conference on Environment and Mineral Processing VŠB-TU Ostrava, 26.-28.6.2003, s. 397-402. Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0248-1.
- [2] BEDEKOVIĆ, G., FEČKO, P., RIEDLOVÁ S., DROBÍK M. *Testování flotačních sběračů na vzorcích uhlí z dolu Lazy*. Sborník: Recyklace odpadů VII, VŠB-TU Ostrava. 10.X.2003, s. 149-154. Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0245-7.
- [3] BLASCHKE, Z. Oil Agglomeration and Selective Flocculation of Coal Slurries. Processing of the 12th International Coal Preparation Congress, Cracow, Poland, May 23-27.1994. Cracow, 1994, s. 483-489. ISBN 2-88449-139-2.
- [4] CROZEIR, R. D. Flotation - theory, reagents and ore testing. Pergamon Press, 1992. ISBN 0-08-041864-3.
- [5] DIRNER, V. Úprava nerostných surovin. Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1963. 475 s.
- [6] DUC, T. *Aplikace pyrolýzách olejů a klasických sběračů ve flotaci černého uhlí*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [7] FEČKO, P. Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů. VŠB-TU Ostrava, 2001. 150 s. ISBN 80-7078-921-2.
- [8] FEČKO, P. Výzkum optimalizace černého uhlí. Grantový úkol č. 105/98/0836, VŠB-TU Ostrava, 2000
- [9] FEČKO, P., PEČTOVÁ, I., RIEDLOVÁ, S., POKORNÁ, E. Selektivna flokulácia čiernouhol'ných kalov. Sborník: Recyklace odpadů V., 26.X.2001, VŠB-TU Ostrava, 2001, s. 233-240. ISBN 80-7078-884-4.
- [10] FEČKO, P., PEČTOVÁ, I., RIEDLOVÁ, S., KUČEROVÁ, R. *Testing of Coal Floatability from Mine CSA*. Sborník: Proceedings of 10th International Mineral Processing Symposium, Cesme, Turkey, 5.-7.X.2004, s. 927-934. ISBN 975-7946-21-4.
- [11] FEČKO, P., RIEDLOVÁ, S., BEDEKOVIĆ, G., ŠAFÁŘOVÁ, M. *Application of column flotation of coal*. XI Balkan Mineral Processing Congress, Faculty of Geology and Mining Tirana, 2005, 22. – 26.5.2005, Durres, s. 222-228. ISBN 99943-694-6-6.

- [12] Flotation and flocculation from fundamentals to applications / editors, John Ralston, Jan Miller, Jorge Rubio. - Medindie : Snap Printing, 2003 - viii, 374 s. : il. ISBN 0-9581414-0-1 (1/1)
- [13] FUERSTENAU, D. W., HERRA-URBINA, R. Flotation reagents. In: *Advances in coal and mineral processing using flotation*. Colorado: Society for mining, metalurgy and exploration, Inc; 1989. ISBN 0-87335-087-1.
- [14] HÁBA, R. *Porovnání flotovatelnosti uhlí na laboratorním a poloprovozním flotátoru*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [15] KMEŤ, S. *Flotácia*. Vydavateľ'stvo Alfa, Bratislava, 1992. 289 s. ISBN 80-05-00971-2.
- [16] KOLLÁROVÁ, L. *Optimalizace použití flotačních činidel pro reflowaci uhelných kalů*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [17] NOVOBILSKÝ, P. *Stanovení vlivu zrnitostního složení přívodu na flotaci černého uhlí*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [18] NOVÁČEK, J. *Technologie úpravy uhlí I*. VŠB-TU Ostrava, 2000. 129 s. ISBN 80-7078-764-3.
- [19] NOVÁČEK, J. *Technologie úpravy uhlí II*. VŠB-TU Ostrava, 2000. 127 s. ISBN 80-7078-764-3.
- [20] PROKOPOVÁ, J. *Flotace černouhelných kalů*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [21] RIEDLOVÁ, S., FEČKO, P., BEDEKOVIČ, G. *Použití kolonového flotátoru na vzorcích z Dolu Lazy*. Sborník: Recyklace odpadů VIII, Ostrava, 8.X.2004, s. 351-356. ISBN 80-248-0560-X.
- [22] RIEDLOVÁ, S., FEČKO, P., BEDEKOVIČ, G. *Porovnání kolonového rotátoru s mechanickým flotátorem*. Sborník: Odpady 2004, S.N. Ves 4.-5.11.2004, s. 194-199. ISBN 80-968214-4-X.
- [23] ROUBÍČEK, V., BUCHTELE, J. *Uhlí, zdroje, procesy, užití*. Ostrava, MONTANEX, 2002. 173 s. ISBN 80-7225-063-9.
- [24] ROUBÍČEK, V., BUCHTELE, J. *Chemie uhlí a jeho využití*. VŠB-TU, Ostrava 1996. 216 s. ISBN 80-7078-406-7.
- [25] SLÍVOVÁ, M. *Flotace papírů*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [26] TICHÁNEK, F., *Možnosti aplikace pěnové separace při úpravě surovin*. Acta Montanistica Slovaca, 2005. 33-38 s. ISSN 1335-1788.

## ***Internetové odkazy***

- [27] Hledej krásy přírody. Bakalářská práce [online]. cit. [10. února 2010]. Dostupné na [www:](http://deadrat.mujblog.centrum.cz/clanky/Bakalarskka-prace-15781.aspx?ctl00_BlogContentsRenderer1_ctl17_ctl00_y=2007)  
< [http://deadrat.mujblog.centrum.cz/clanky/Bakalarskka-prace-15781.aspx?ctl00\\_BlogContentsRenderer1\\_ctl17\\_ctl00\\_y=2007](http://deadrat.mujblog.centrum.cz/clanky/Bakalarskka-prace-15781.aspx?ctl00_BlogContentsRenderer1_ctl17_ctl00_y=2007)>
- [28] OKD. [online]. cit. [3. února 2010]. Dostupné na [www:](http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/)  
< <http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/>>
- [29] VŠ chemicko-technologická v Praze. Dobré smáčení [online]. 2005 cit. [18. Února 2010]. Dostupné na [www:](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/dobre_smaceni.html) <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/dobre\\_smaceni.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/dobre_smaceni.html)>.
- [30] VŠ chemicko- technologická v Praze. Selektivní smáčení [online]. 2005 cit. [19. Února 2010]. Dostupné na [www:](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/selektivni_smaceni.html)  
<[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/selektivni\\_smaceni.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/selektivni_smaceni.html)>.
- [31] VŠ chemicko- technologická v Praze. Špatné smáčení [online]. 2005 cit. [18. Února 2010]. Dostupné na [www:](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/spatne_smaceni.html)  
<[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/spatne\\_smaceni.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/spatne_smaceni.html)>.
- [32] VŠ chemicko- technologická v Praze. Špatné smáčení [online]. 2005 cit. [18. Února 2010]. Dostupné na [www:](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html)  
<[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/flotace.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/flotace.html)>
- [33] VŠ chemicko- technologická v Praze. Soustava [online]. 2005 cit. [18. Února 2010]. Dostupné na [www:](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/soustava.html)  
<[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/soustava.html](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/soustava.html)>



## Seznam obrázku

Obr. 1	Schéma flotačního cyklu	6
Obr. 2	Poloha minerálního zrna ve vztahu k fázovému rozhraní	11
Obr. 3	Schéma pěnové flotace	12
Obr. 4	Kapka kapaliny dobře smáčející (a) tuhý povrch, (b) povrch jiné kapaliny	14
Obr. 5	Kapka kapaliny špatně smáčející (a) tuhý povrch, (b) povrch jiné kapaliny	14
Obr. 6	Kapalina A selektivně smáčí tuhý povrch B	15
Obr. 7	(a) zředěná soustava plyn-kapalina, (b) vlhká pěna, (c) suchá pěna	18
Obr. 8	Míchání zahuštěného rmutu	30
Obr. 9	Laboratorní poloprovozní flotátor	31
Obr. 10	Flotace	31
Obr. 11	Odvod flotovaných částic	32
Obr. 12	IČ – spektroskopické záznamy testovaných flotačních činidel Montanol	33
Obr. 13	IČ – spektroskopické záznamy flotačních činidel KOPD	34
Obr. 14	Vzorek č. 1 – Montanol 551	35
Obr. 15	Vzorek č. 2 – KOPD 11	36
Obr. 16	Vzorek č. 3 – KOPD 9	37
Obr. 17	Vzorek č. 4 – KOPD 9	38
Obr. 18	Vzorek č. 5 – KOPD 11	39

## Seznam tabulek

Tab. 1	vzorek č. 1	35
Tab. 2	vzorek č. 2	36
Tab. 3	vzorek č. 3	37
Tab. 4	vzorek č. 4	38
Tab. 5	vzorek č. 5	39